



Universidade Federal de Santa Catarina
Centro Tecnológico
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo

Dissertação de Mestrado

Ana Paula de Almeida Rocha

**CARACTERIZAÇÃO DO ZONEAMENTO DA ILUMINAÇÃO NATURAL E
SUA INFLUÊNCIA NO CONTROLE DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL**

Florianópolis, 2012



Universidade Federal de Santa Catarina
Centro Tecnológico
Programa De Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo

Ana Paula de Almeida Rocha

CARACTERIZAÇÃO DO ZONEAMENTO DA ILUMINAÇÃO NATURAL E SUA INFLUÊNCIA NO CONTROLE DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina, como um dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Prof. PhD.Fernando Oscar Ruttkay Pereira.

Florianópolis, 2012

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Rocha, Ana Paula de Almeida

Caracterização do zoneamento da iluminação natural e sua influência no controle da iluminação artificial [dissertação] / Ana Paula de Almeida Rocha ; orientador, Fernando Oscar Ruttkay Pereira - Florianópolis, SC, 2012. 173 p. ; 21cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo.

Inclui referências

1. Arquitetura e Urbanismo. 2. Arquitetura. 3. Iluminação Natural. 4. Eficiência Energética. I. Pereira, Fernando Oscar Ruttkay. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Ana Paula de Almeida Rocha

CARACTERIZAÇÃO DO ZONEAMENTO DA ILUMINAÇÃO NATURAL E SUA INFLUÊNCIA NO CONTROLE DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “Mestre” e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – Pós-ARQ.

Florianópolis, 29 de junho de 2012.

Prof. Ayrton Portilho Bueno, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Fernando Oscar Ruttkay Pereira, PhD - Orientador - UFSC

Prof. Anderson Claro, Dr. - UFSC

Prof. Martin Gabriel Ordenes Mizgier, Dr. - UFSC

Prof^ª. Roberta Vieira Gonçalves de Souza, Dra. - UFMG

Florianópolis, 2012

**Dedico este trabalho aos meus pais,
Admardo e Dalva e aos meus irmãos
Grasielle, Simão e Admardo.**

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Admardo e Dalva, que sempre me apoiaram em todas as etapas de minha formação, com incentivo e carinho. Agradeço a meus irmãos, Grasielle, Simão e Admardo, por compreenderem minha ausência e darem aquele apoio moral.

À tia Wanda e ao tio Curt, por me adotarem como filha por esses dois anos; ao Victor e Marco que deixaram muito mais divertida minha adaptação na cidade de Florianópolis.

Ao meu orientador e professor, Fernando Pereira, pela orientação, dedicação e paciência. Admiro muito sua orientação tão personalizada, entendendo as necessidades de cada orientando.

A todos do Pós-ARQ/UFSC, professores, funcionários e alunos, que participaram do processo nestes anos de mestrado.

Aos professores Anderson, Martin e Roberta, por terem aceitado fazer parte da Banca examinadora.

Aos meus colegas e amigos do LabCon/UFSC, por toda ajuda e troca de conhecimento, companheirismo e amizade. Aos meus eternos amigos do LabCon/UFMG, pelo carinho e atenção horas a fio, ajudando no que fosse preciso, mesmo a distância.

Aos grandes amigos de mestrado, da UFMG e da vida: Ângela, Cecília, Crisley, Jonara e Louise, pela energia positiva; André, Natália e Vivi pela boa companhia; Bruna, Giselle, Mari, Manu, Carol, Larissa, Karine, Fernanda e Dé por continuarem tão presentes, mesmo distantes. Aos meninos de BH, em especial Breno, Rafael e Thiago por deixarem vivas as boas lembranças de BH. E, ao Hugo, pela parceria nos fins de semana de estudos e por me fazer rir todos os dias.

Agradeço aos demais que colaboraram para a elaboração deste trabalho.

E ao meu Deus interior.

RESUMO

O uso da luz natural além de garantir níveis de iluminação adequados para as atividades humanas reduz a necessidade do uso da luz artificial. Apesar dos avanços dos equipamentos e técnicas, observa-se que a instalação do sistema de controle de iluminação artificial nos ambientes acontece de maneira indiscriminada, ou seja, sem um critério metodológico que realmente integre a luz natural, o que não assegura uma redução do tempo de uso do sistema de iluminação artificial. Uma das formas de otimizar o uso das estratégias de controle de iluminação e, consequentemente, aumentar a vida útil e a redução do acionamento do sistema, se dá pela definição prévia das zonas de iluminação natural. Estas são caracterizadas por áreas que apresentam uma distribuição de iluminâncias com características similares. Este trabalho tem como objetivo avaliar a influência do zoneamento da iluminação natural no controle do sistema de iluminação artificial e na definição dos sistemas de controle de iluminação artificial. A metodologia consiste na aplicação do conceito de zoneamento da iluminação natural em modelos tridimensionais e na avaliação do acionamento do sistema de iluminação artificial, considerando a luz natural disponível, através do uso de diferentes sistemas de controle. Como ferramenta computacional, utiliza-se o programa Daysim. A partir dos resultados de zoneamento da iluminação natural, verifica-se que a configuração espacial e o número de zonas estão relacionados ao tipo de iluminação e à profundidade do ambiente. Analisando-se os resultados de acionamento do sistema de iluminação artificial, verifica-se que a aplicação do conceito de zoneamento da iluminação pode reduzir o tempo de uso do sistema de iluminação artificial em até 55%, quando utilizado o sistema dimerizável. Em geral, quanto maior a diferença entre as iluminâncias máxima e mínima encontradas no interior do ambiente, ou seja, quanto maior o número de zonas, maior a redução do tempo de uso do sistema de iluminação artificial quando o ambiente é zoneado. Portanto, a determinação e consideração das zonas de iluminação natural, entre outras razões, se faz necessária para se melhorar a eficiência energética na iluminação, neste caso, desligando e/ou reduzindo a potência liberada ao sistema de iluminação artificial.

Palavras-chave: Arquitetura. Iluminação Natural. Eficiência Energética.

ABSTRACT

The use of natural light, besides ensuring appropriate lighting levels for human activities, can reduce the need of using artificial light and also interfere with the total energy consumption of the building. Despite technological advances, it is observed that the installation of an artificial lighting control system in the environments happens indiscriminately, that is, without a methodological criterion that truly integrates natural light, which does not ensure a reduction of energy consumption. One of the ways to optimize the use of lighting control strategies is given by the previous definition of the zones of natural light, which are characterized by areas that present a distribution of illuminance with similar characteristics. This zoning also allows that the artificial lighting of each zone has a control that is independent and appropriate to the characteristics of light. In this context, The present study aims to compare the energy performance of two automated strategies for artificial lighting control. The methodological procedures are performed using the computer simulation program Daysim. The daylit areas are generated from the frequencies of illuminance occurrences within predetermined areas. The illuminance intervals are based on acceptable contrasts within each zone, with maximum ratios is 3:1, which differs from the Useful Daylight Illuminances (UDIs) index, which only allows you to check which portion of the environment has useful values (which are not too low, nor values that can cause glare or heat gain). Then, to the energy consumption comparison between models with and without zone divisions, the artificial lighting system is controlled by automated systems linked to daylighting. Dimmable and on/off systems are used individually in the energetic simulations to check the differences of energy consumption in lighting with the use of each control. The results are very promising, which already allows to testify the importance of defining the areas for adequacy of these control systems, as they lead to reductions in the energy consumption of artificial lighting.

Keywords: Daylighting, Energy Efficiency, Architecture

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Consumo de energia elétrica dos setores comercial, público e residencial.....	31
Figura 1.2 – Exemplos de ambientes que são beneficiados pela luz natural aonde, no entanto, não há desligamento da iluminação artificial.....	33
Figura 1.3 – Zonas de iluminação com características semelhantes de Fator de Luz Diurna.....	36
Figura 2.1 – Ambiente com circuitos independentes do sistema de iluminação artificial, definidos a partir da distribuição do Fator de Luz Diurna (FLD).	41
Figura 2.2 – Ilustração de componentes de condução e componentes de passagem.....	43
Figura 2.3 – Ilustração de (a) Componentes de condução: átrio escalonado; e (b) Componentes de passagem: tipos de zenitais.....	44
Figura 2.4: Configuração espacial da iluminação natural para um ambiente com área de abertura de 15% da área do piso, distribuída em 1, 2, 3, 4 aberturas.	45
Figura 2.5 – Modelo de edifício simulado.	49
Figura 2.6 – Mapas e gráficos da variação das medidas da luz natural no plano de trabalho.	50
Figura 2.7 – Exemplo de zoneamento da luz natural de um ambiente retangular, iluminado com janelas opostas.....	52
Figura 2.8 - Delimitação das zonas luminosas no plano de análise	53
Figura 2.9 - Mapas das zonas luminosas para três tipos de céu: claro, parcial e encoberto.....	54
Figura 2.10 – Zonas de iluminação	55
Figura 2.11 – Consumos (kWh) e reduções de energia (%) em iluminação.....	62

Figura 2.12 – Relação entre a probabilidade de acionamento do sistema artificial no início do expediente e o nível de iluminância no plano de trabalho..... 64

Figura 2.13 – Autonomias da Luz Natural simuladas e medidas (Referência) para os cinco casos testes. 70

Figura 3.1 – Perspectiva dos modelos para simulação..... 74

Figura 3.2 - Posicionamento das janelas nos modelos..... 77

Figura 3.3 – Área das aberturas nas fachadas..... 78

Figura 3.4 – Alturas dos ambientes..... 79

Figura 3.5 – Malhas de pontos do plano de análise – (a) modelo 1; (b) modelo 2; (c) modelo 3..... 80

Figura 3.6 – Limites das zonas de iluminação natural..... 82

Figura 3.7 – Proposta de divisão do plano iluminado em zonas... 83

Figura 3.8 – Zonas de iluminação natural. 84

Figura 3.9 – Esquema de simulação do uso da iluminação artificial quando o ambiente está dividido em zonas. 86

Figura 3.10 – Total de análises para o sistema de iluminação artificial. 88

Figura 4.1 - Esquema da forma de apresentação dos resultados das zonas de iluminação. 90

Figura 4.2 – Esquema geral das configurações espaciais das zonas de iluminação natural..... 123

Figura 4.3 - Esquema geral das magnitudes das zonas de iluminação natural..... 124

Figura 4.4 – Horas de uso do sistema de iluminação artificial (anual) e reduções das horas de uso em percentual quando aplicado o conceito de zoneamento no ambiente (R), nos casos dos M1 com PD2,70m orientados ao (a) Norte; (b) Sul; (c) Leste; (d) Oeste..... 126

Figura 4.5 – Horas de uso do sistema de iluminação artificial (anual) e reduções das horas de uso em percentual quando aplicado o

conceito de zoneamento no ambiente (R), nos casos dos M1 com PD3,50m orientados ao (a) Norte; (b) Sul; (c) Leste; (d) Oeste..... 127

Figura 4.6 - Valores médios das horas de uso do sistema de iluminação artificial, em horas/ano, nos casos dos M1 com (a) PD2,70m e (b) PD3,50m..... 129

Figura 4.7 – Reduções médias das horas de uso em percentual quando aplicado o conceito de zoneamento no ambiente (R), nos casos dos M1 com (a) PD2,70m e (b) PD3,50m. 131

Figura 4.8 – Horas de uso do sistema de iluminação artificial (anual) e reduções das horas de uso em percentual quando aplicado o conceito de zoneamento no ambiente (R), nos casos dos M2 com PD2,70m orientados ao (a) Norte; (b) Sul; (c) Leste; (d) Oeste..... 133

Figura 4.9 – Horas de uso do sistema de iluminação artificial (anual) e reduções das horas de uso em percentual quando aplicado o conceito de zoneamento no ambiente (R), nos casos dos M2 com PD3,50m orientados a (a) Norte; (b) Sul; (c) Leste; (d) Oeste..... 134

Figura 4.10 - Valores médios das horas de uso do sistema de iluminação artificial, em horas/ano, nos casos dos M2 com (a) PD2,70m e (b) PD3,50m..... 135

Figura 4.11 – Influência das características das zonas de iluminação no controle do sistema de iluminação artificial – caso Sul/PD2,70/Jan.Adjacente/PAF70..... 137

Figura 4.12 – Horas de uso do sistema de iluminação artificial (anual) e reduções das horas de uso em percentual quando aplicado o conceito de zoneamento no ambiente (R), nos casos dos M3 com PD2,70m orientados ao (a) Norte; (b) Sul; (c) Leste; (d) Oeste..... 138

Figura 4.13 – Horas de uso do sistema de iluminação artificial (anual) e reduções das horas de uso em percentual quando aplicado o conceito de zoneamento no ambiente (R), nos casos dos M3 com PD3,50m orientados ao (a) Norte; (b) Sul; (c) Leste; (d) Oeste..... 139

Figura 4.14 - Valores médios das horas de uso do sistema de iluminação artificial, em horas/ano, nos casos dos M3 com (a) PD2,70m e (b) PD3,50m..... 140

Figura 4.15 – Reduções médias das horas de uso em percentual quando aplicado o conceito de zoneamento no ambiente (R), nos casos dos M1 com (a) PD2,70m e (b) PD3,50m..... 142

Figura 4.16 – Zoneamento da iluminação natural dos casos (a) M1 – PD270/SUL/J.Adjacente/PAF20; (b) M2 – PD270/SUL/J.Adjacente/PAF70; (c) M2 – PD270/LESTE/J.Adjacente/PAF70. 144

Figura 7.1 - Exemplo de tabela com dados detalhados de horas de uso da iluminação artificial para cada zona. 161

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Descrição dos sistemas de controle de iluminação artificial.....	76
Quadro 2 – Configurações espaciais das zonas de iluminação natural dos casos arquitetônicos do M1 com pé direito de 2,70m e 3,50m, orientados ao Norte.....	92
Quadro 3 - Configurações espaciais das zonas de iluminação natural dos casos do M1 com pé direito de 2,70 e 3,50m, orientados ao Sul.....	94
Quadro 4 - Configurações espaciais das zonas de iluminação natural dos casos do M1 com pé direito de 2,70 e 3,50m, orientados ao Leste.....	96
Quadro 5 - Configurações espaciais das zonas de iluminação natural dos casos do M1 com pé direito de 2,70 e 3,50m, orientados a Oeste.....	98
Quadro 6 - Configuração das zonas de iluminação natural dos casos do M2 com pé direito de 2,70 e 3,50, orientados ao Norte.....	103
Quadro 7 - Configuração das zonas de iluminação natural dos casos do M2 com pé direito de 2,70 e 3,50, orientados a Sul.....	105
Quadro 8 - Configuração das zonas de iluminação natural dos casos do M2 com pé direito de 2,70 e 3,50, orientados ao Leste.....	107
Quadro 9 - Configuração das zonas de iluminação natural dos casos do M2 com pé direito de 2,70 e 3,50, orientados a Oeste.....	109
Quadro 10 - Configuração das zonas de iluminação natural dos casos do M3 com pé direito de 2,70 e 3,50, orientados ao Norte.....	113
Quadro 11 - Configuração das zonas de iluminação natural dos casos do M3 com pé direito de 2,70 e 3,50, orientados ao Sul.....	115
Quadro 12 - Configuração das zonas de iluminação natural dos casos do M3 com pé direito de 2,70 e 3,50, orientados ao Leste.....	117
Quadro 13 - Configuração das zonas de iluminação natural dos casos do M3 com pé direito de 2,70 e 3,50, orientados a Oeste.....	119

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Aplicação de estratégias de controle em ambientes de escritório.	57
Tabela 2 - Diversos tipos de lâmpadas e suas possibilidades de dimerização.	58
Tabela 3 – Economia de controles de iluminação em diferentes tipos de edifícios.....	59
Tabela 4 - Opções dos dispositivos de controle e dos sistemas de iluminação artificial.	60
Tabela 5 - Resumo das economias de energia para vários cenários de controle comparado ao cenário de uso total da potência instalada.	60
Tabela 6 – Programas de simulação da luz natural.	67
Tabela 7– Refletâncias de superfícies em ambientes de trabalho.	74
Tabela 8 – Percentual de área de abertura na fachada (PAF) para fachadas principais e secundárias.	78
Tabela 9 - Cálculo das faixas de ocorrência para cada faixa predeterminada para determinação do zoneamento luminoso.....	82
Tabela 10 – Porcentagem de tempo que cada zona ocorre em cada ponto do modelo com a marcação em cores do intervalo de maior ocorrência.....	83
Tabela 11 – Resumo das características construtivas dos casos arquitetônicos simulados.	88
Tabela 12 – Magnitudes e Áreas das zonas de iluminação natural dos casos arquitetônicos do M1, orientados ao Norte.....	93
Tabela 13 - Magnitudes e Áreas das zonas de iluminação natural dos casos arquitetônicos do M1, orientados ao Sul.....	95
Tabela 14 – Magnitudes e Áreas das zonas de iluminação natural dos casos arquitetônicos do M1, orientados ao Leste.....	97

Tabela 15 – Magnitudes e Áreas das zonas de iluminação natural dos casos arquitetônicos do M1, orientados a Oeste..... 99

Tabela 16 – Frequência que ocorrem as zonas de iluminação (Z0 a Z5) nos casos arquitetônicos do M1 de acordo com a orientação da fachada principal..... 100

Tabela 17 – Frequência que ocorrem as zonas de iluminação (Z0 a Z5) nos casos arquitetônicos do M1 de acordo com o PAF da abertura. 101

Tabela 18 – Magnitudes e Áreas das zonas de iluminação natural dos casos arquitetônicos do M2, orientados ao Norte..... 104

Tabela 19 – Magnitudes e Áreas das zonas de iluminação natural dos casos arquitetônicos do M2, orientados ao Sul. 106

Tabela 20 – Magnitudes e Áreas das zonas de iluminação natural dos casos arquitetônicos do M2 com pé direito de 2,70 e 3,50, orientados ao Leste..... 108

Tabela 21 – Magnitudes e Áreas das zonas de iluminação natural dos casos arquitetônicos do M2, orientados a Oeste..... 110

Tabela 22 – Frequência que ocorrem as zonas de iluminação (Z0 a Z5) nos casos arquitetônicos do M2 de acordo com a orientação da fachada principal..... 111

Tabela 23 – Magnitudes e Áreas das zonas de iluminação natural dos casos arquitetônicos do M3, orientados ao Norte..... 114

Tabela 24 – Magnitudes e Áreas das zonas de iluminação natural dos casos arquitetônicos do M3, orientados a Sul. 116

Tabela 25 – Magnitudes e Áreas das zonas de iluminação natural dos casos arquitetônicos do M3, orientados a Leste..... 118

Tabela 26 – Magnitudes e Áreas das zonas de iluminação natural dos casos arquitetônicos do M3 com pé direito de 2,70 e 3,50, orientados a Oeste..... 120

Tabela 27 – Frequência que ocorrem as zonas de iluminação (Z0 a Z5) nos casos arquitetônicos do M3 de acordo com a orientação da fachada principal..... 121

Tabela 28 – Casos M1 com valores máximos de horas de uso da iluminação artificial.....	128
Tabela 29 – Casos M2 com valores máximos de horas de uso da iluminação artificial.....	136
Tabela 30 - Reduções máximas nas horas de uso do sistema de iluminação artificial quando aplicado o conceito de zoneamento da iluminação natural no ambiente (%)......	143
Tabela 31 - Resultados detalhados das horas de acionamento da iluminação artificial (anual) dos casos zoneados do modelo M1 com PD2,70m orientados ao Norte e Sul.....	162
Tabela 32 - Resultados detalhados das horas de acionamento da iluminação artificial dos casos zoneados do modelo M1 com PD2,70m orientados ao Leste e Oeste.....	163
Tabela 33 - Resultados detalhados das horas de acionamento da iluminação artificial (anual) dos casos zoneados do modelo M2 com PD2,70m orientados ao Norte e Sul.....	164
Tabela 34 - Resultados detalhados de acionamento da luz artificial dos casos zoneados M2 com PD2,70m orientados a Leste e Oeste.....	165
Tabela 35 - Resultados detalhados de acionamento da luz artificial dos casos zoneados M3 com PD2,70m orientados ao Norte e ao Sul.....	166
Tabela 36 - Resultados detalhados das horas de acionamento da iluminação artificial dos casos zoneados do modelo M3 com PD2,70m orientados a Leste e Oeste.....	167
Tabela 37 - Resultados detalhados das horas de acionamento da iluminação artificial (anual) dos casos zoneados do modelo M1 com PD3,50m orientados ao Norte e ao Sul.....	168
Tabela 38 - Resultados detalhados das horas de acionamento da iluminação artificial dos casos zoneados do modelo M1 com PD3,50m orientados a Leste e Oeste.....	169

Tabela 39 - Resultados detalhados das horas de acionamento da iluminação artificial (anual) dos casos zoneados do modelo M2 com PD3,50m orientados ao Norte e ao Sul..... 170

Tabela 40 - Resultados detalhados de acionamento da luz artificial dos casos zoneados M2 com PD3,50m orientados a Leste e Oeste..... 171

Tabela 41 - Resultados detalhados de acionamento da luz artificial dos casos zoneados M3 com PD3,50m orientados ao Norte e ao Sul..... 172

Tabela 42 - Resultados detalhados das horas de acionamento da iluminação artificial dos casos zoneados do modelo M3 com PD3,50m orientados a Leste e Oeste..... 173

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CSV	<i>comma separated value</i>
DC	Daylight Coefficient
DA	Daylight Autonomy
M1	Modelo 1
M2	Modelo 2
M3	Modelo 3
PAF	Percentual de Área de Abertura na Fachada
PALN	Potencialidade de Aproveitamento da Luz Natural
PD	Pé Direito
SHOCC	<i>Strawberry Hill Overseas and Community Concern</i>
UDI	<i>Useful Daylight Illuminances</i>

Entidades e Programas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BEN	Balanço Energético Nacional
MME	Ministério de Minas e Energia
NBR	Norma Brasileira
NRCC	National Research Council Canada
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
RTQ	Regulamento Técnico da Qualidade

Sumário

1INTRODUÇÃO.....	31
1.1COLOCAÇÃO DO PROBLEMA.....	31
1.2OBJETIVOS	37
1.2.1Objetivo geral	37
1.2.2Objetivos específicos.....	37
1.3ESTRUTURA DO TRABALHO.....	38
2REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	39
2.1EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL.....	40
2.2APROVEITAMENTO DA LUZ NATURALNO AMBIENTE CONSTRUÍDO	42
2.2.1Variáveis que interferem na iluminação natural.....	43
2.3CONCEITO DAS ZONAS DE ILUMINAÇÃO DE INTEGRAÇÃO.....	51
2.4ESTRATÉGIAS DE CONTROLE DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL.....	56
2.4.1Integração dos sistemas de iluminação artificial e natural	57
2.4.2Economia de energia com sistemas de controle.....	59
2.4.3Aceitação dos usuários.....	63
2.4.4Modelos comportamentais.....	64
2.5PROGRAMAS COMPUTACIONAIS	66
2.5.1Programa Daysim	68
3MÉTODO	73
3.1SÍNTESE	73
3.2CARACTERÍSTICAS DOS MODELOS PARA SIMULAÇÃO.....	73
3.2.1Propriedades das superfícies opacas e translúcidas	74
3.2.2Sistema de iluminação artificial e padrão de ocupação.....	75
3.2.3Tamanho, tipo e posicionamento das aberturas	76
3.2.4Orientação da fachada principal	78

3.2.5	Altura do ambiente	79
3.3	ZONAS DE ILUMINAÇÃO NATURAL	79
3.3.1	Simulação da luz natural	80
3.3.2	Determinação das zonas de iluminação natural	81
3.4	USO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL.....	84
3.4.1	Sensores de controle do uso da iluminação artificial.....	85
3.4.2	Simulação do uso do sistema de iluminação artificial.....	85
3.4.3	Cálculo do uso do sistema de iluminação artificial	86
3.5	RESUMO DAS SIMULAÇÕES.....	88
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	89
4.1	ZONEAMENTO DA ILUMINAÇÃO NATURAL	89
4.1.1	Casos arquitetônicos do Modelo 1.....	91
4.1.2	Casos arquitetônicos do Modelo 2.....	102
4.1.3	Casos arquitetônicos do Modelo 3.....	112
4.1.4	Síntese dos resultados do zoneamento da iluminação natural ..	123
4.2	ANÁLISE DAS SIMULAÇÕES DE USO DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL ..	125
4.2.1	Síntese dos resultados de uso da iluminação artificial.....	143
5	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	145
5.1	INTRODUÇÃO	145
5.2	CONCLUSÕES.....	146
5.3	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	149
5.3.1	Limitações do trabalho.....	149
5.3.2	Sugestões para trabalhos futuros:	150
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	151
7	APÊNDICE 161	

1 INTRODUÇÃO

1.1 COLOCAÇÃO DO PROBLEMA

O consumo de energia tem aumentado mundialmente devido ao modo de vida e às crescentes exigências materiais e de consumo da população. Os países mais desenvolvidos, como Estados Unidos e Canadá, com alta renda per capita entre sua população, um elevado nível de consumo e com edificações condicionadas artificialmente, apresentam um dos maiores consumos de energia elétrica per capita no mundo. Já nos países em desenvolvimento, como o Brasil, o grande aumento da população e a rápida inversão da forma de vida rural para a urbana têm sido duas das principais causas na contínua demanda de energia (LAMBERTS e TRIANA, 2007).

No Brasil, a taxa de crescimento de consumo nas edificações vem aumentando consideravelmente. A partir da figura 1.1, observa-se a expansão do consumo de energia elétrica dos setores residencial, comercial e público de 1970 a 2009 (BRASIL, 2010). Desta forma, esses setores concentram parte significativa da atuação do projetista em aumentar a eficiência energética nas edificações. (LAMBERTS et al., 2004).

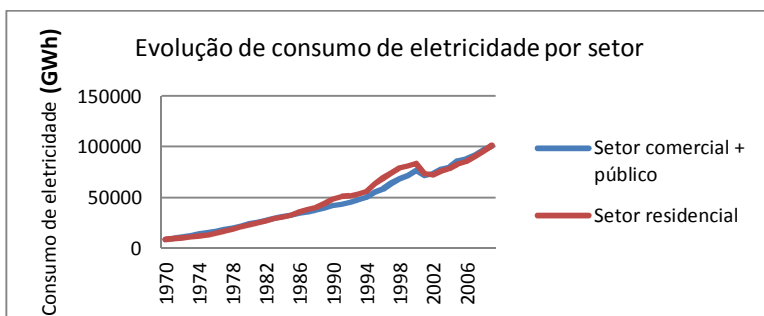


Figura 1.1 – Consumo de energia elétrica dos setores comercial, público e residencial.
Fonte: BEN, 2010 (Ministério das Minas e Energia, 2010)

Considerando esse cenário e a probabilidade crescente de aumento de consumo, a criação de soluções específicas de eficiência energética nas edificações se tornou imprescindível. Na maioria dos

países industrializados, desde a década de 1960, padrões de eficiência energética para edificações que especificam as exigências mínimas de consumo de energia para as novas construções residenciais e comerciais vêm sendo adotados. No Brasil, em 2001, como consequência da crise de energia surge a primeira iniciativa nacional para promover a eficiência energética: a Lei nº 10.295 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia (BRASIL, 2001a). Mais adiante, foi publicado o Decreto 4.059 de 19 de dezembro de 2001, indicando que “os níveis máximos de consumo de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia (...), bem como edificações construídas, serão estabelecidos com base em indicadores técnicos e regulamentação específica (...)” (BRASIL, 2001b). Em 2009, foram lançados o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (BRASIL, 2009a) e o Regulamento de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (BRASIL, 2009b). Estes regulamentos fazem parte do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE). Neles são apresentados parâmetros para a avaliação de edifícios específicos, a fim de que estes recebam a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), de acordo com o nível de eficiência energética, podendo ser de A até E, sendo o primeiro mais eficiente e o último, menos eficiente.

De acordo com o RTQ-C, os critérios para a avaliação de edifícios envolvem três sistemas básicos: envoltória, sistema de iluminação artificial e sistema de condicionamento de ar. O peso do quesito de iluminação artificial para a etiquetagem é de 30% da pontuação total, mostrando que um sistema eficiente de iluminação pode influenciar consideravelmente na eficiência total de um edifício. Diante disso, um elevado potencial de economia de energia pode ser alcançado se a iluminação natural for utilizada como uma fonte de luz para iluminar os ambientes internos, podendo assim complementar ou substituir o uso da iluminação artificial.

A pertinência do uso da iluminação natural também se baseia na necessidade básica do ser humano de se expor à luz do Sol, considerando que a ativação e o equilíbrio das funções fisiológicas do corpo também dependem da exposição à luz. Boas condições de

iluminação influenciam a satisfação e a produtividade dos ocupantes, bem como podem garantir os níveis mínimos de iluminância para a realização das atividades. De modo geral, considerando as características de eficiência visual, conforto e estética, é relevante utilizar a iluminação natural como fonte de luz e potencial de economia de energia elétrica nas edificações (HOPKINSON, 1975; BAKER et al., 1993; BAKER e STEEMERS, 2002, FARLEY e VEITCH, 2001).

A admissão de iluminação natural no ambiente interno não resulta diretamente em economia de energia. Conforme mostrado na figura 1.2, em edifícios comerciais, verifica-se comumente um cenário cujo sistema de iluminação artificial permanece acionado na maior parte do tempo, embora haja admissão de luz natural suficiente para a realização das atividades no ambiente. Desse modo, pode-se dizer que a economia de energia só ocorre quando o tempo de uso da iluminação artificial é reduzido através da substituição pela luz natural. Para se obter essa redução com o aproveitamento da luz natural, nem sempre basta um simples interruptor liga/desliga; muitas vezes, é necessário o uso de um controle automático do sistema de iluminação artificial, pois este garante o desligamento imediato da iluminação artificial nos momentos em que a luz natural consegue fornecer a iluminância de projeto no ambiente.



(a) Sede de empresa



(b) Biblioteca

Figura 1.2 – Exemplos de ambientes que são beneficiados pela luz natural aonde, no entanto, não há desligamento da iluminação artificial.

Fonte: www.arcoweb.com.br

Alguns trabalhos já discutiram a economia de energia gerada pela integração de sistemas de luz natural e artificial através de controles de iluminação artificial, ligados à luz natural (FERREIRA e SOUZA, 2009). Em edifícios comerciais convencionais, a escolha pelo controle automático pode proporcionar uma redução de 30 a 40% no uso da iluminação artificial (BAKER e STEEMERS, 2002). Em seu trabalho de tese, Souza (2003) desenvolveu o PALN (Potencialidade de Aproveitamento da Luz Natural), uma metodologia para estimar a potencialidade de aproveitamento da luz natural utilizando os sistemas automáticos de controle para economia de energia elétrica em iluminação artificial. O PALN indica o período em que é possível utilizar a luz natural para substituir ou complementar a iluminação artificial. Galasiu et al. (2007) apresentaram um estudo de campo em um edifício real onde foram instalados diferentes tipos de controles automáticos de iluminação; dependendo da combinação dos sistemas foram constatadas economias de energia variando de 15 a 67% na carga de iluminação.

Apesar de constatado que a instalação de controles automáticos reduz substancialmente o tempo de uso da luz artificial, a escolha do tipo de sistema revela-se uma tarefa difícil porque depende de muitos fatores tais como as características da luz natural disponível, os tipos de lâmpadas e luminárias e o padrão de ocupação do ambiente.

Quanto às características da luz natural, o estudo da distribuição dos níveis de iluminação natural ao longo do ano se faz fundamental para se sugerir as estratégias de controle e a forma de instalação. Sabe-se que o comportamento da luz natural no interior do ambiente é de difícil avaliação devido à dinâmica própria de sua natureza; no entanto, já existem, hoje, ferramentas de projeto que possibilitem tal avaliação, como as simulações com modelos físicos reduzidos e a modelagem numérica através de simulações computacionais. Segundo Mardaljevic (2004), a simulação computacional apresenta uma série de vantagens quando comparada, por exemplo, às técnicas que envolvem a construção de modelos físicos, devido à velocidade na construção dos modelos, à facilidade na produção de imagens e de vídeos e à variedade de opções de visualização dos resultados.

No caso da instalação de estratégias manuais de controle, o comportamento dos ocupantes tem um efeito significativo sobre o

sistema artificial de uma edificação. Um sistema que foi projetado para ser energeticamente eficiente pode não funcionar de forma adequada caso for negligenciado o fato de os usuários interagirem ativamente com o ambiente. Através da operação inapropriada dos sistemas de iluminação artificial e natural, os ocupantes podem subverter com o conceito de eficiência energética. Em função disso, estudos atuais estão sendo feitos utilizando modelos comportamentais nas simulações computacionais, com intuito de prever o comportamento dos usuários em relação ao sistema manual de iluminação artificial do ambiente (REINHART et al., 2003; REINHART, 2004; BOURGEOIS et al., 2006; HOES et al., 2008).

Apesar de todos os avanços dos equipamentos e técnicas, observa-se, na maioria dos trabalhos referentes a controles de iluminação, que a instalação do sistema ainda acontece de maneira indiscriminada. Não há um critério metodológico que defina a melhor forma de instalação ou que determine a melhor estratégia de controle que fará a ligação entre a disponibilidade de luz natural e o sistema de iluminação artificial. Uma das formas de otimizar o uso das estratégias de controle de iluminação e, conseqüentemente, aumentar a vida útil do sistema e a economia de energia, se dá pela definição prévia das zonas de iluminação natural. Estas são caracterizadas por áreas que apresentam uma distribuição de iluminâncias com características similares (ROBBINS, 1986). Na figura 1.3, estão mostradas as zonas de iluminação de um ambiente escritório, analisadas segundo a distribuição dos valores de Fator de Luz do Dia (FLD) produzidos pela luz natural.

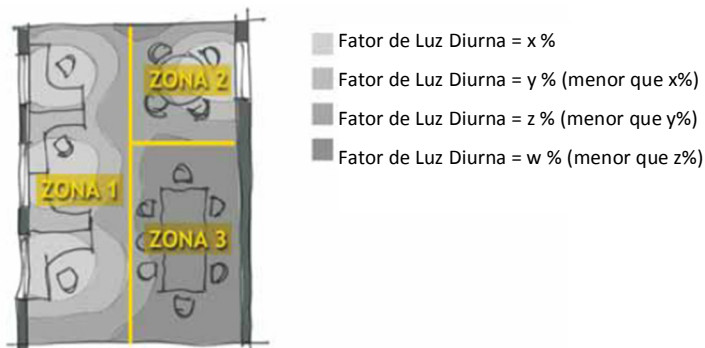


Figura 1.3 – Zonas de iluminação com características semelhantes de Fator de Luz Diurna.

Fonte: Pereira e Mueller, 2007.

Com esta divisão, é possível definir a distribuição das luminárias e lâmpadas no ambiente e, também, especificar, para os conjuntos de luminárias e lâmpadas, circuitos independentes com estratégias de controle apropriadas às características da iluminação natural de cada zona. Dessa forma, resumidamente, o zoneamento da luz natural tem como objetivo permitir que o sistema artificial de cada zona tenha um controle independente e adequado às características luminosas.

Nas regulamentações brasileiras sobre iluminação e eficiência energética, nota-se o emprego do conceito de zonas de iluminação, embora ainda de forma incipiente. No caso do Regulamento Técnico de Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), para se atingir bons níveis de eficiência energética, o projeto de sistema de iluminação deve atender alguns pré-requisitos específicos como divisão de circuitos, contribuição da luz natural e desligamento automático do sistema de iluminação. No entanto, não há recomendações bem estabelecidas sobre os procedimentos que devem ser realizados para a melhor divisão dos circuitos ou escolha das estratégias de controle da iluminação artificial. Nesse sentido, uma metodologia mais elaborada do conceito de zonas de iluminação pode auxiliar na integração dos sistemas de iluminação natural e artificial nos edifícios, potencializando assim a eficiência dos sistemas e a economia de energia no ambiente construído.

Considerando todas estas questões, este trabalho pretende discutir como e quanto a definição de zonas de iluminação natural pode influenciar na escolha do sistema de controle de iluminação artificial e no tempo de uso do mesmo.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é analisar a influência do zoneamento adequado da iluminação natural na definição dos sistemas de controle de iluminação artificial e no funcionamento do sistema de iluminação artificial em ambientes de escritório.

1.2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar as zonas de iluminação de modelos arquitetônicos;
- Comparar o tempo de uso da iluminação artificial dos modelos com zonas de iluminação com o dos modelos sem discriminação de zonas;
- Comparar os resultados de tempo de uso da luz artificial utilizando diferentes estratégias de controle de iluminação artificial quanto à variabilidade da luz natural disponível em cada zona.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está dividido em cinco capítulos. A Introdução apresenta a colocação do problema e os objetivos que se pretende alcançar. O segundo capítulo corresponde à Revisão Bibliográfica, cujo intuito é construir a fundamentação teórica relativa à integração da iluminação natural e artificial na arquitetura, focando no conceito do zoneamento da iluminação natural. Além disso, são apresentadas algumas ferramentas computacionais de avaliação de luz natural nas edificações. No terceiro capítulo, estão detalhados os procedimentos metodológicos adotados a fim de se atingir os objetivos do trabalho. O quarto capítulo é constituído por uma descrição dos resultados das simulações e da aplicação do procedimento de zoneamento da luz natural. E por fim, no último capítulo, estão desenvolvidas as considerações finais e as limitações do trabalho, além das sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta a revisão bibliográfica dos assuntos relacionados ao tema deste trabalho, abordando aspectos referentes aos benefícios da integração da iluminação natural e artificial e do zoneamento da luz natural na redução dos gastos em iluminação artificial. Como introdução, são apresentadas as formas de se obter **eficiência energética em iluminação artificial**, sem deixar de garantir condições adequadas para a realização da tarefa visual.

A partir disso, enfoca-se no potencial de **aproveitamento da luz natural** como forma de reduzir o uso do sistema artificial no ambiente construído. Nessa etapa, são apresentadas as variáveis que influenciam o comportamento da luz natural no interior das edificações, bem como são discutidos os critérios para avaliação da iluminação. Os principais autores utilizados foram Hopkinson et al (1975); Baker et al (1993); Vianna e Gonçalves (2001); Baker e Steemers (2002); Reinhart (2001, 2006), NABIL (2005), Mardaljevic, Heschong e Lee (2009).

Após esta abordagem, apresenta-se **o conceito de zoneamento da iluminação natural**, como forma de otimizar a compatibilização entre os sistemas de iluminação natural e artificial, de acordo principalmente com os autores Robbins (1986), Souza (2003) e Tsangrassoulis et al, 2004.

Em seguida, são levantados os **sistemas de controle da iluminação artificial**, aprofundando nos mecanismos que aproveitam da luz natural admitida no ambiente interno. Os principais autores consultados foram California Energy Commission (2001) e Tsangrassoulis et al (2004), Galasiu et al. (2004; 2007); Dubois e Blomsterberg (2011).

Por fim, são apresentados os **métodos para cálculo da iluminação natural e do uso da luz artificial** no ambiente, com detalhamento em simulação computacional e no programa de simulação Daysim. Os principais autores para esta etapa foram Reinhart (2005, 2010), Reinhart, Mardaljevic e Rogers (2006); Cabús (2005); Ramos (2008) Didoné (2009).

2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

Segundo CADDET (1995), sistemas de iluminação artificial energeticamente eficientes podem ser obtidos através da minimização de duas variáveis: o tempo de utilização e a potência instalada.

A minimização da densidade de potência instalada está associada, basicamente, às características técnicas, à eficiência e ao rendimento de um conjunto de elementos, dentre os quais se destacam: lâmpadas, luminárias e reatores, circuitos de distribuição, cores das superfícies internas e mobiliário (RODRIGUES, 2002). Além da instalação de equipamentos eficientes, Dubois e Blomsterberg (2011) colocam que a elaboração de projeto luminotécnico criterioso, com o uso de iluminação ambiente e de tarefa, e a sua manutenção constante também contribui para a redução da potência necessária para iluminar um ambiente.

O tempo de utilização dos sistemas de iluminação artificial pode ser reduzido através da instalação de estratégias de controle apropriadas aos padrões luminosos e de ocupação do ambiente. O uso de sensores de presença e temporizadores, por exemplo, é adequado para áreas com padrão de ocupação pré-determinado. Nos ambientes iluminados naturalmente, o tempo de uso da iluminação artificial pode ser reduzido através do aproveitamento da luz natural. Este aproveitamento é feito através da dimerização das luminárias que ajusta o nível de iluminação para atingir um nível pré-estabelecido, levando-se em consideração a luz natural disponível no momento, ou também pelo acionamento manual através de circuitos independentes que podem ser ligados ou desligados de acordo com a luz natural (Figura 2.1).

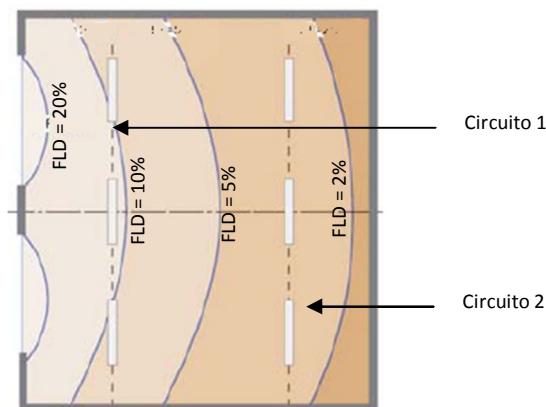


Figura 2.1 – Ambiente com circuitos independentes do sistema de iluminação artificial, definidos a partir da distribuição do Fator de Luz Diurna (FLD).

Fonte: Loe (2003).

As normas e regulamentos consideram predominantemente a densidade de potência instalada e a eficiência dos equipamentos para reduzir o consumo energético em iluminação por caracterizar a forma mais simples e rápida de alcançar bons resultados. As lâmpadas fluorescentes eletrônicas modernas são de 4 a 6 vezes mais eficientes que as lâmpadas incandescentes por exemplo (ELETROBRÁS / PROCEL EDUCAÇÃO, 2006). O Regulamento Técnico de Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – RTQ-C (BRASIL, 2009) determina limites máximos de densidade de potência de iluminação para estabelecer eficiência energética dos sistemas de iluminação das edificações novas e existentes. Essa avaliação pode ser feita através do método de área ou das atividades do edifício. Independente do tipo de método, para a edificação obter níveis de eficiência entre A e D, além de atendimento de pré-requisitos básicos, os sistemas de iluminação artificial precisam atender aos valores de referência de potência instalada indicados nas tabelas encontradas nos documentos do regulamento.

Nesse contexto, é importante ressaltar que a redução da potência instalada ou do tempo de utilização do sistema artificial não deve comprometer a satisfação e conforto dos usuários nos ambientes. O conceito de eficiência energética deixa de ser expressivo caso o

sistema de iluminação artificial não forneça as condições adequadas para a realização da tarefa visual.

As normas internacionais e nacionais (IESNA, 2000; ABNT, 1992), predizem os níveis de iluminação recomendados na área de trabalho, baseando-se nas características das tarefas visuais e nas exigências para sua realização. A velocidade e a precisão das atividades são os principais parâmetros que influenciam na determinação dos níveis, sendo que os maiores valores são recomendados a atividades que devem ser executadas mais rapidamente ou com uma maior precisão. O valor de iluminância também pode ser ajustado de acordo com as características específicas dos ocupantes: idade, sexo e as referências pessoais interferem nos níveis de iluminação desejados pelos usuários.

Embora muito utilizada em normas e trabalhos científicos, a definição de níveis de iluminâncias resulta em uma avaliação parcial do desempenho da tarefa. A qualidade da iluminação de tarefa relaciona-se a outras medidas, como: Iluminância vertical versus horizontal, brilho, contraste, reprodução de cor, temperatura de cor, entre outros. Adicionalmente, a percepção humana para considerar uma iluminação confortável, boa ou prazerosa não necessariamente está correlacionada somente aos níveis de iluminância definidos como ideais para a realização da tarefa (MILLS e BORG, 1999).

2.2 APROVEITAMENTO DA LUZ NATURAL NO AMBIENTE CONSTRUÍDO

A iluminação de um ambiente pode ser feita através da iluminação artificial ou natural, sendo ideal a utilização da iluminação artificial apenas quando a natural não atende aos níveis desejados para a realização de determinada atividade. Além de diminuir os gastos energéticos, segundo Farley e Veitch (2001) e Galasiu e Veitch (2006), os usuários preferem ambientes iluminados naturalmente. Essa preferência está associada ao conforto psicológico, reprodução de cores e benefícios que a iluminação natural proporciona à saúde e qualidade de vida. Para aproveitar os benefícios proporcionados pela luz natural no ambiente é necessário compreender as variáveis que influenciam em seu desempenho.

2.2.1 Variáveis que interferem na iluminação natural

Um sistema de iluminação natural é composto pela fonte de luz, direta ou indireta do Sol e do céu, pela abertura no edifício com os seus filtros, refletores e elementos de sombreamento, assim como pelas superfícies interiores de reflexão (CALIFORNIA ENERGY COMISSION, 2001). Segundo Amorim (2002), os sistemas e componentes que podem ser utilizados para aproveitamento da luz natural vão desde os mais simples, como proteções solares fixas e prateleiras de luz até tecnologias mais sofisticadas. Baker et al (1993) classificam esses elementos em componentes de condução, de passagem e de controle, podendo ser aplicados individualmente ou em conjunto (Figura 2.2).

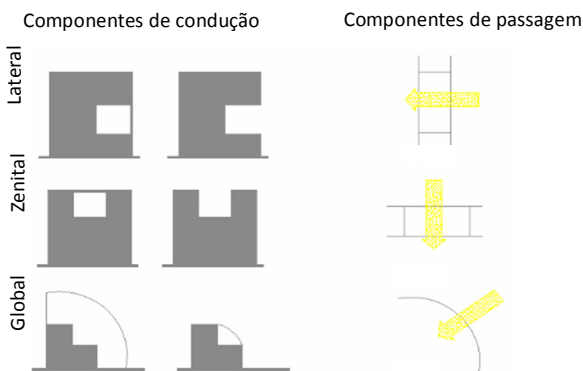
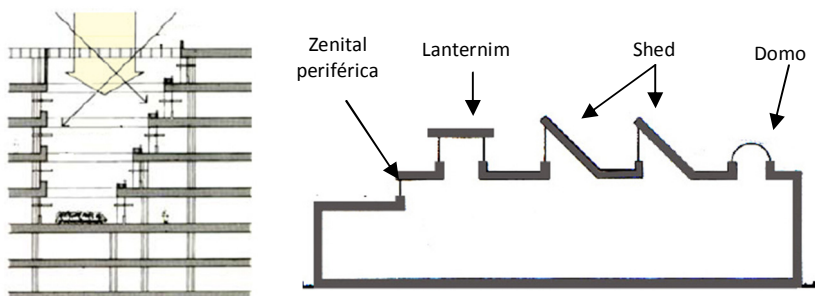


Figura 2.2 – Ilustração de componentes de condução e componentes de passagem.
Fonte: Adaptado de Baker et al (1993).

Os componentes de condução são espaços intermediários, pelos quais a luz passa antes de atingir espaços internos. Alguns exemplos são: átrios, pátios, galerias e dutos de luz. Os componentes de passagem são elementos que unem dois ambientes luminosos e permitem a admissão de luz de um para o outro. Esses componentes são divididos em componente de passagem lateral, zenital e global (Figura 2.3). Por último, os elementos de controle podem ser adicionados aos componentes de passagem ou de condução e funcionam como reguladores da admissão de luz nos ambientes.

Toldos, brises, pérgula, prateleiras de luz e persianas são alguns exemplos dessas formas de controle.



(a) Átrio

Fonte: Adaptado de Lam (1986)

(b) Zenital

Fonte: Adaptado de IESNA (2000)

Figura 2.3 – Ilustração de (a) Componentes de condução: átrio escalonado; e (b) Componentes de passagem: tipos de zenitais.

A iluminação lateral é a mais utilizada nas edificações devido às facilidades construtivas e econômicas, bem como por permitirem contato visual, ventilação e admissão de radiação solar. As variáveis geométricas que influenciam diretamente na quantidade e distribuição da luz, admitida por estas, que merecem ser analisadas para o desenvolvimento deste trabalho são: dimensões, localização, forma das aberturas laterais, além dos parâmetros do ambiente profundidade e pé direito (REINHART, 2002; IBRAHIM e AHMED, 2007; FONSECA, 2007; LI e TSANG, 2008; CINTRA, 2011; HUSIN e HARITH, 2012).

A distribuição das aberturas nas fachadas é uma característica essencial na admissão de luz: uma mesma área de abertura distribuída de forma diferente apresenta diferentes resultados de distribuição de iluminação, conforme se pode observar na figura 2.4.

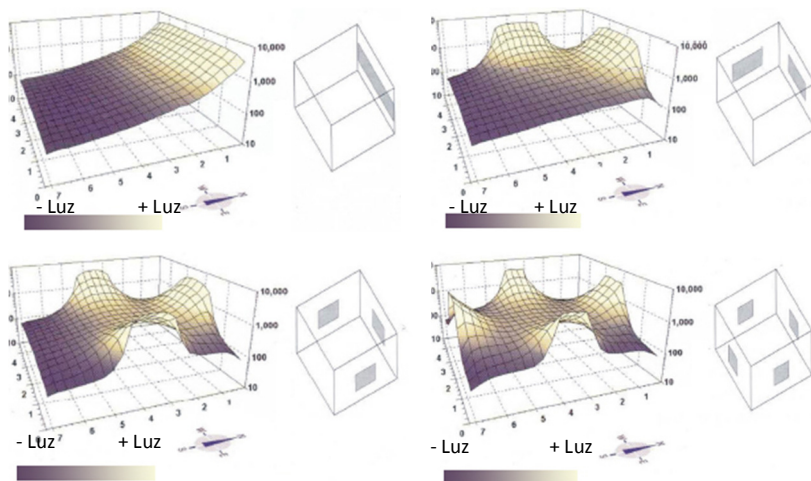


Figura 2.4: Configuração espacial da iluminação natural para um ambiente com área de abertura de 15% da área do piso, distribuída em 1, 2, 3, 4 aberturas.

Fonte: Adaptado de Baker e Steemers (2002).

Nos ambientes iluminados unilateralmente, o nível de iluminação diminui rapidamente com o afastamento da janela, podendo resultar em problemas como ofuscamento na área próxima a janela e grandes contrastes na distribuição da luz. Isso ocorre principalmente em ambientes muito profundos. Por outro lado, os ambientes iluminados a partir de janelas colocadas em mais de uma parede apresentam uma configuração espacial mais homogênea dos níveis de iluminação; por exemplo, aberturas bilaterais propiciam melhor penetração da luz natural e potencializam a difusão da luz nas superfícies opostas às aberturas, principalmente quando as janelas estão posicionadas em faces adjacentes (HOPKINSON, 1975; KREMER, 2002; SOUZA, 2003; FONSECA, 2007). Adicionalmente, no arranjo de janelas em todas as paredes do ambiente proporciona melhor uniformidade na distribuição da luz, no entanto, essa configuração das aberturas é menos comum em edifícios uma vez que um ambiente dificilmente terá todas as suas fachadas voltadas para o exterior.

Além da distribuição das aberturas, a área envidraçada em relação à área a ser iluminada é outro fator que interfere na forma de admissão luminosa no ambiente (HOPKINSON et al, 1975; IBRAHIM e

AHMED, 2007; LI e TSANG, 2008; HUSIN e HARITH, 2012). Hopkinson et al. (1975) colocam que, em termos gerais, quanto maior o tamanho da janela na fachada, maior a quantidade de luz no interior do ambiente. Acrescentando, Lytra (2011) observa que a mudança da área de janela apresenta pequena influência na configuração de distribuição da luz natural no ambiente; em seu estudo, quando alterado o percentual de abertura na fachada de 20% para 50%, a autora notou pequena diferença do alcance da luz natural, apesar do aumento dos níveis de iluminação nas regiões próximas à janela.

A partir de seu estudo a respeito da influência da área envidraçada e tipo de vidro na luz natural de um ambiente, Li e Tsang (2008) ressaltam que grandes proporções de área entre abertura e fachada não significaram altos níveis de iluminação, dependendo do tipo de vidro¹ utilizado nas janelas. Os autores completam relatando que, com o avanço da tecnologia dos vidros, aumentaram as possibilidades de variar a área da abertura sem comprometer o desempenho térmico e luminoso das edificações. Ainda sob este contexto, Mills (2005) aponta que a introdução dessas novas tecnologias altera a forma de projetar e proporciona maior liberdade aos profissionais, considerando que o desempenho de um edifício passa a ser medido por outros parâmetros que vão além da proporção entre áreas de parede e janelas.

Quanto à localização das aberturas verticais, Kremer (2002) afirma que janelas laterais baixas têm a qualidade de evitarem a penetração de raios solares nas áreas mais afastadas das janelas, no

¹ A quantidade de luz natural transmitida através dos vidros varia segundo suas propriedades ópticas de transmitância (τ), refletância (ρ) e absorvância (α), definidoras das parcelas de energia radiante transmitida, refletida e absorvida nos envidraçados, que influenciam na quantidade de energia térmica admitida ao interior das edificações (BOGO et al., 2009). Essas propriedades ópticas são influenciadas pela direção de incidência sobre o material e para cada comprimento de onda de radiação.

entanto, podem se tornar pouco eficientes em relação aos níveis e à distribuição da iluminação no plano de trabalho. Além disso, as janelas baixas podem oferecer problemas de ofuscamento, pois a linha de visão de uma pessoa sentada à altura do plano de trabalho volta-se diretamente para a luz excessiva da abertura e sua reflexão na área do piso próximo à janela. Por outro lado, as janelas altas apresentam uma melhor distribuição da luz natural e reduzem o risco de ofuscamento por estarem posicionadas acima do campo de visão das pessoas, entretanto, essas aberturas podem expor áreas mais profundas à radiação solar direta e impedem o contato visual direto com o exterior (KREMER, 2002).

Na avaliação da volumetria de modelos arquitetônicos, que engloba as variáveis profundidade e altura, Didoné (2009; 2010) percebeu que, quanto menos profundo e mais alto for o ambiente, melhor é a uniformidade em termos de distribuição da luz natural; os ambientes profundos apresentaram mais de 50% de sua área carente de iluminação durante todo o ano. Por outro lado, os modelos mais profundos, por possuírem maior volume (afastado do ponto de admissão de calor – a abertura), apresentaram menor carga térmica por metro cúbico, reduzindo gastos com ar condicionado. Mais uma vez confirma-se a correlação existente entre o consumo de energia e o inverso da profundidade dos ambientes, mostrando a contraposição entre os princípios para uma boa iluminação natural e eficiência energética de um edifício (Ghisi et al, 2005).

2.2.1.1 Critérios para avaliação da Luz Natural

A compreensão do comportamento da luz natural no ambiente pode ser realizada através de uma medida da luz natural e da definição de critérios para qualificar o seu desempenho. Uma medida é um cálculo da luz natural no ambiente, que pode ser feito por medições ou simulações. Um critério é uma demarcação escalar para aquelas medidas que qualifica cada valor obtido na avaliação (MARDALJEVIC et al., 2009).

Como critério de desempenho, o Fator de Luz Diurna (FLD) é comumente utilizado para avaliar a distribuição e o nível da luz no

ambiente e também o nível de iluminação no mesmo. No entanto, esse método tem a desvantagem de não incluir a contribuição da luz direta do Sol, porque o FLD é calculado apenas para o modelo de céu encoberto, no qual é caracterizado por uma distribuição de luminâncias homogênea da abobada celeste (NABIL e MARDALJEVIC, 2005; REINHART et al., 2006; ROGERS, 2006).

Os níveis de iluminação natural em um espaço são dinâmicos, constantemente mutáveis tanto em intensidade quanto em padrão de distribuição espacial devido à variabilidade das duas fontes de luz – o Sol e o céu – e suas interações com a geometria e as propriedades físicas do ambiente (MARDALJEVIC et al., 2009). Considerando estes aspectos, os trabalhos atuais têm empregado cada vez mais as medidas dinâmicas para avaliar o comportamento da luz natural cujos resultados são apresentados na forma de séries anuais de iluminâncias. As principais medidas são Autonomia da Luz Natural (REINHART e WALKENHORST, 2001), Iluminâncias Úteis da Luz Natural (NABIL e MARDALJEVIC, 2005) e Autonomia Contínua da Luz Natural (ROGERS, 2006); e estão descritas mais detalhadamente a seguir:

Autonomia da Luz Natural (*Daylight Autonomy* – DA): é definida como uma porcentagem das horas ocupadas por ano, nas quais um nível de iluminância pode ser mantido apenas pela iluminação natural (REINHART e WALKENHORST, 2001).

Iluminâncias Úteis da Luz Natural (*Useful Daylight Illuminances* – UDI): dada pela frequência da iluminância em um determinado tempo de acordo com faixas pré-estabelecidas. Essas faixas correspondem a insuficientes (iluminâncias inferiores a 100 lux); úteis (100 a 2000 lux) e excessivas (acima de 2000 lux) (NABIL e MARDALJEVIC, 2006).

Autonomia Contínua da Luz Natural (*Continuous Daylight Autonomy* – DA_{con}): adicionalmente, esse método permite que níveis fracionados sejam considerados na avaliação. Créditos parciais são atribuídos para os períodos de tempo nos quais os níveis luminosos estão abaixo do nível alvo (ROGERS, 2006).

Autonomia Máxima da Luz natural (*Maximum Daylight Autonomy* – DA_{Max}): indica a porcentagem de horas no ano onde a luz

do Sol está extremamente elevada. É definido a um nível igual a dez vezes maior que a iluminância pré-determinada (ROGERS, 2006).

Vale destacar que as medidas descritas acima indicam uma maneira para facilitar a avaliação da luz natural no ambiente. Elas podem ser utilizadas em conjunto ou não, dependendo do objetivo de estudo da iluminação natural no ambiente interno.

Nabil e Mardaljevic (2006) fizeram uma análise comparativa simplificada entre três índices de avaliação da luz natural. Os índices analisados foram Fator de Luz Diurna, Autonomia da Luz Natural e Iluminância Útil da Luz Natural. Para

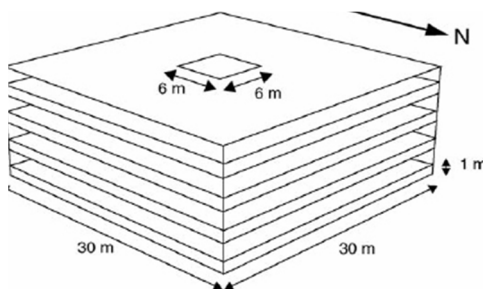


Figura 2.5 – Modelo de edifício simulado.

Fonte: Nabil e Mardaljevic, 2006.

isso, foi simulado, para o clima de Londres, o modelo mostrado na figura 2.5, formado por quatro pavimentos livres, com aberturas nas quatro fachadas e lanternim, e sem nenhum tipo de sombreamento. Os resultados foram apresentados na forma de mapas e gráficos. Os mapas mostram a variação da luz natural no plano de trabalho e os gráficos apresentam as medidas ao longo do eixo (Figura 2.6). O primeiro mapa representa a distribuição luminosa segundo o Fator de Luz Diurna, onde seu valor é maior próximo às aberturas e decai rapidamente à medida que se afasta das mesmas. Os valores de FLD estão dispostos simetricamente a todas as fachadas da edificação, o que demonstra a desconsideração quanto à orientação e trajetória do Sol por este índice. Por outro lado, utilizando a medida da Autonomia da Luz Natural, a consideração da orientação e trajetória solar se apresenta visualmente perceptível no mapa. No entanto, não há informações sobre possíveis excessos de níveis de iluminação nessas áreas, o que pode provocar desconforto nos usuários do ambiente por ofuscamento. O terceiro mapa representa a medida Iluminâncias Úteis da Luz Natural, cujos resultados já indicam os excessos de iluminação no ambiente através da classificação dos níveis em iluminação baixa,

útil e excessiva. De modo geral, percebe-se que os índices como Fator de Luz Diurna e Autonomia da Luz Natural indicam valores excessivos como níveis aceitáveis de iluminação, o que pode causar desconforto visual e ganho excessivo de calor.

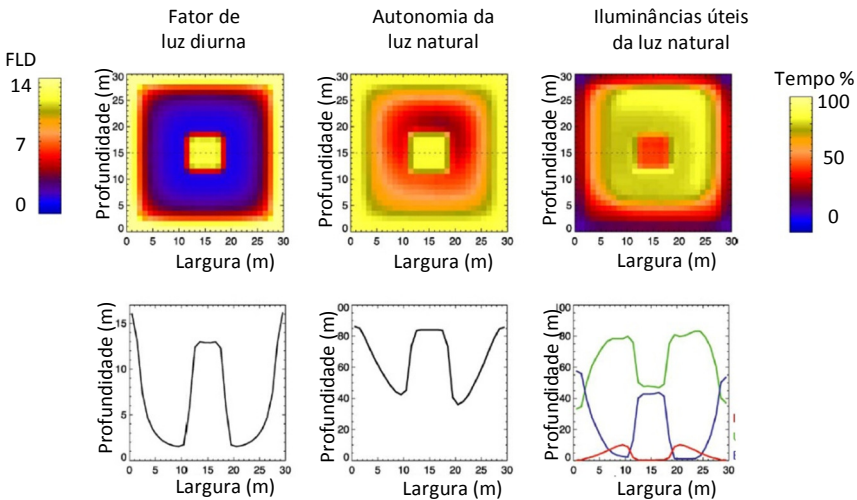


Figura 2.6 – Mapas e gráficos da variação das medidas da luz natural no plano de trabalho.

Fonte: Adaptado de Nabil e Mardaljevic, 2006.

Mardaljevic et al. (2009) nomearam a abordagem dinâmica como Modelagem da Luz Natural Baseada no Clima. O procedimento para estimar o comportamento da luz natural no ambiente ocorre a partir dos dados climáticos horários de um local específico, considerando assim a posição solar e as condições de não uniformidade do céu. Existem duas principais formas de empregar a Modelagem da Luz Natural Baseada no Clima para análise das condições da iluminação: método acumulativo e séries-horárias. A análise cumulativa gera valores globais dos níveis de iluminação a partir da soma das radiações de um período de tempo do arquivo climático. Esse método pode ser usado para estimar o acesso solar de ambientes urbanos, o tempo de exposição solar de obras de arte, entre outros. Por outro lado, a análise em séries horárias estima instantaneamente as medidas

da luz natural baseadas nos valores horários dos arquivos climáticos. Essas estimativas são usadas para avaliar o potencial de iluminação natural do edifício e o tempo de ocorrência de iluminâncias excessivas, por exemplo; esses dados podem ser usados, respectivamente, como entrada para prever o uso das lâmpadas e das persianas e verificar a necessidade de sistemas de sombreamento.

2.3 CONCEITO DAS ZONAS DE ILUMINAÇÃO DE INTEGRAÇÃO

A partir da distribuição espacial da luz natural no ambiente interno, é possível identificar áreas cujas características de iluminação natural são semelhantes. De acordo com Robbins (1986), essas áreas são definidas como zonas de controle de iluminação integradas em um edifício. Propõe-se utilizar conjuntamente a luz natural e artificial para prover a iluminação geral ou de tarefa no ambiente, assegurando assim melhores condições de conforto e potencializando a economia de energia em iluminação.

Não existe um conjunto de regras para estabelecer as zonas de iluminação natural. Uma simples observação visual da distribuição dos níveis de luz natural poderia ser empregada para determinar as zonas de iluminação. Segundo Robbins (1986), dentro de uma zona de iluminação, a razão entre a iluminância máxima e a iluminância mínima deve ser sempre menor ou igual a 3:1 ($E_{\text{máx}}/E_{\text{mín}} \leq 3$), o que garante uma relação de contraste razoável. Esta recomendação pode variar de acordo com a acuidade da atividade visual realizada na zona, nunca sendo superior a 9:1 ($E_{\text{máx}}/E_{\text{mín}} \leq 9$).

A distribuição e o tamanho das zonas de controle de iluminação variam de acordo com o comportamento da luz natural no ambiente interno, o qual é determinado pelas características específicas das aberturas e do ambiente, conforme visto no exemplo de ambiente e zoneamento da iluminação apresentado na figura 2.7 (TSANGRASSOULIS et al, 2004). A geometria, localização e distribuição das aberturas influenciam essencialmente no recorte do zoneamento, pois essas características alteram a distribuição da luz natural no ambiente interno. A área de janela, o tipo de vidro e elementos protetores ou redirecionadores da luz solar são elementos das

aberturas que podem impactar no tamanho de cada zona de iluminação natural. Quanto às características específicas do ambiente, pé-direito, profundidade e refletância das superfícies são as principais variantes que podem influenciar na compartimentação do ambiente em zonas luminosas.

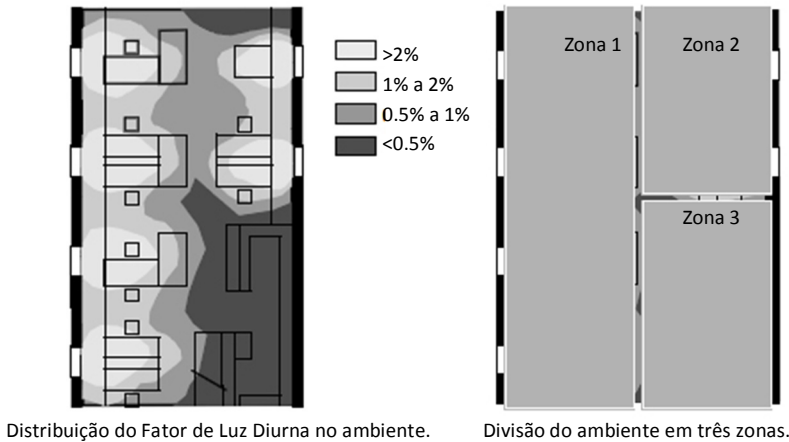


Figura 2.7 – Exemplo de zoneamento da luz natural de um ambiente retangular, iluminado com janelas opostas.

Fonte: Adaptado de Tsangrassoulis et al, 2004.

A partir do desenvolvimento das zonas de iluminação natural, um projeto luminotécnico pode ser desenvolvido considerando que cada área receberá um tratamento diferenciado na distribuição das luminárias e na escolha do sistema de controle da iluminação artificial sendo mais apropriado ao tipo de ocupação e sazonalidade da iluminação natural. Dessa forma, reduções no consumo de energia podem ser potencializadas com o acionamento gradual e adequado das lâmpadas de acordo com a necessidade de complementação ou substituição pela iluminação artificial.

De acordo com Tsangrassoulis et al (2004), quanto maior o número de zonas em um ambiente, maior a oportunidade de economia de energia. Porém, os custos iniciais também aumentam à medida que aumenta o número de zonas. Nesse sentido, o autor aconselha avaliar alguns aspectos para determinar o sistema de

iluminação mais adequado às necessidades do ambiente, como o desempenho do sistema, custos iniciais e de manutenção.

Em seu trabalho, Souza (2003) explica a metodologia para aplicação do conceito de zonas luminosas nos edifícios a partir das seguintes etapas:

- Definir plano de análise e calcular as iluminâncias de cada parcela do plano de análise para dias de céu claro, parcialmente nublado e nublado;
- Identificar a iluminância mínima (E_{\min}) estimada;
- Determinar intervalos de iluminâncias para gerar as zonas luminosas, a partir da iluminância mínima, multiplicando-se seu valor por múltiplos de 3: (E_{\min}); ($3 \times E_{\min}$); ($9 \times E_{\min}$); ($27 \times E_{\min}$); ($81 \times E_{\min}$) e assim sucessivamente até que seja atingida a iluminância máxima encontrada no ambiente;
- Indicar para cada parcela do plano de análise a zona a qual ela pertence. Podem-se utilizar cores indicativas para representar cada zona (Figura 2.8).

1107	1367	1416	1442	1443	1444	1444	1443	1442	1416	1364	1100
829	1062	1163	1197	1219	1225	1226	1219	1197	1163	1062	826
511	660	728	773	795	808	808	795	773	728	659	509
342	418	465	497	513	520	520	513	500	467	420	344
209	244	274	300	310	320	320	312	302	276	246	210
153	177	192	212	220	224	224	220	213	193	177	152
114	133	150	157	161	164	164	161	157	150	133	113
79	91	95	101	109	112	112	109	102	96	91	79
63	74	80	86	85	85	86	86	86	82	76	65
47	50	52	55	55	55	55	55	55	52	50	47
39	43	45	47	51	51	51	51	48	45	43	38
36	39	42	45	47	47	47	47	45	43	39	36
30	34	36	39	40	41	41	40	39	37	34	30
19	20	22	20	21	22	22	21	21	22	20	19
18	20	19	21	21	21	21	21	21	20	20	18
17	18	18	19	20	19	19	21	19	19	19	17

Legenda: ● Zona 0 ● Zona 4 ● Zona 3 ● Zona 2 ● Zona 1

Figura 2.8 - Delimitação das zonas luminosas no plano de análise

Fonte: SOUZA, 2003

- Identificar para cada parcela a zona que nela ocorreu com maior frequência, para obter assim o mapa de distribuição de zonas.

- A partir dos mapas referentes aos três tipos de céu, determina-se a distribuição das zonas para o ambiente através de uma análise visual. Para isso, considera-se a frequência de ocorrência média de cada tipo de céu, com intuito de dar maior ou menor peso a um determinado tipo de céu (Figura 2.9);

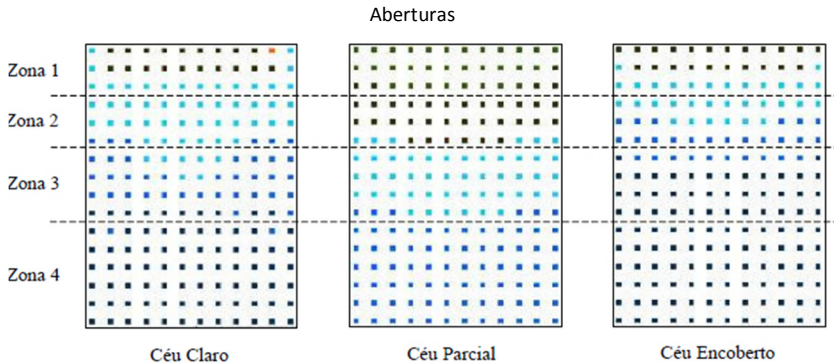


Figura 2.9 - Mapas das zonas luminosas para três tipos de céu: claro, parcial e encoberto

Fonte: SOUZA, 2003

O procedimento proposto por Souza (2003), baseando-se em Robbins (1986), foi feito a partir de cálculos de iluminâncias para horários e dias específicos do ano. Novas formas de aplicar o conceito das zonas luminosas podem ser desenvolvidas utilizando simulações dinâmicas, o que permitiria a realização de uma análise anual da iluminação natural, considerando a variabilidade das duas fontes de luz – o Sol e o céu – e suas interações com a geometria e as propriedades físicas do ambiente.

Sabry e Faggal (2005) aplicaram o conceito de zonas de iluminação natural para verificar a potencialidade de economia de energia no sistema de iluminação artificial em um ambiente iluminado naturalmente por duas aberturas laterais voltadas para o Sul. O estúdio possui dimensões de 6m de largura e 8m de profundidade. Para análise do desempenho da luz natural, dados de iluminâncias foram medidos no plano de trabalho durante o período de ocupação (8h – 16h) a cada intervalo de 1 hora em um dia de céu claro.

A partir da distribuição espacial da luz natural e dos níveis de iluminância requeridos para o estúdio, foram propostas três zonas de controle e três circuitos independentes: zona Sul, zona central e zona Norte (Figura 2.10). Cada grupo possui três luminárias e o tipo de acionamento da luz artificial escolhido foi um sistema manual liga/desliga.

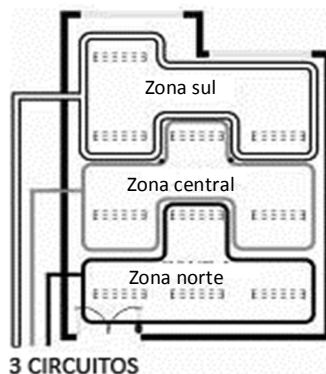


Figura 2.10 – Zonas de iluminação
Fonte: Sabry e Faggal (2005)

O tempo de funcionamento das lâmpadas foi estimado para cálculo de consumo de energia em iluminação. Na zona Norte, o sistema artificial deve permanecer acionado durante todas as horas de trabalho. Para zona central, 5 horas de funcionamento foi estimado. Na zona Sul, a luz natural é suficiente para todas as horas de trabalho, sendo desnecessário o uso do sistema artificial durante o período diurno. Diante disso, foi encontrada uma média de 35% de economia de energia em iluminação artificial.

Em seu trabalho, Lopes (2006) definiu de forma simplificada zonas de iluminação em uma sala de aula para realizar a integração dos sistemas de iluminação natural e artificial suplementar. A delimitação das zonas foi feita a partir da análise dos resultados para ambientes iluminados unilateralmente apresentados por Souza (2003). Desse modo, o plano luminoso do ambiente foi dividido inicialmente em 4 zonas de acordo com as proporções definidas por este autor e, em seguida, as zonas 1 e 2, e 3 e 4 foram mescladas, resultando em apenas 2 zonas na sala de aula. Lopes (2006) reduz o número de zonas no ambiente com intuito de reduzir os custos iniciais com circuitos, acionamentos e manutenção para a aplicação de iluminação diferenciada para cada zona.

2.4 ESTRATÉGIAS DE CONTROLE DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

Quando se pretende realizar a integração entre o sistema de iluminação artificial e outra propriedade específica do ambiente, como a componente da luz natural ou o período de ocupação, faz-se necessário utilizar sistemas automáticos de controle, projetados a partir de algum critério de necessidade de iluminação. A seguir estão listadas as principais estratégias de controle de iluminação artificial, de acordo com California Energy Commission, 2001 e Tsangrassoulis et al, 2004.

- Sensor de ocupação: acionam ou desligam as lâmpadas de acordo com a ocupação do ambiente.

- Padrão de uso: o sistema de iluminação é automaticamente desligado em horários pré-determinados utilizando temporizadores. Este tipo de estratégia é efetiva em locais onde a rotina de trabalho é bem definida.

- Iluminação ajustável à tarefa: a potência da iluminação elétrica é ajustada de acordo com as necessidades da tarefa realizada no ambiente.

- Luz natural: controles reduzem a potência utilizada ou interrompem a luz artificial de acordo com a quantidade de luz natural disponível no ambiente.

- Limite de demanda: a potência de iluminação elétrica é reduzida em situações de queda de energia. Durante períodos de alerta, cargas de iluminação podem ser alteradas voluntariamente ou automaticamente.
























- Compensação Adaptativa: controles reduzem níveis de iluminação no final da tarde para acomodar as preferências luminosas dos usuários para o período noturno. Para isso, utilizam-se dispositivos dimerizáveis ou múltiplos passos combinados com algum tipo de controlador de tempo ou fotocélulas.

- Manutenção dos Lumens: compensa a depreciação dos lumens através de uma fotocélula que assegura que o fluxo luminoso de saída permaneça constante. Com essa estratégia, a potência total somente

será utilizada próximo do fim da vida útil do sistema, reduzindo o consumo de energia durante a vida das lâmpadas.

As estratégias de controle mostradas acima definem o que os controles de iluminação fazem. Mais de uma estratégia pode ser utilizada em um mesmo espaço caso seja apropriado. É comum a combinação dos controles de iluminação em resposta à ocupação e à luz natural. Nesse caso, prioriza-se o sensor de ocupação; as lâmpadas apenas serão desligadas caso o ambiente esteja desocupado. No contrário, os controles em reposta à luz natural permitem regular o fluxo luminoso de saída das lâmpadas de acordo com a iluminação natural. A tabela 1 indica algumas dessas combinações de sistemas de controle para ambientes de escritórios, tanto de planta livre quanto privado (SEAI, 2002).

Tabela 1 – Aplicação de estratégias de controle em ambientes de escritório.

Ambientes de escritório	Padrão de ocupação	Sistemas automáticos de controle					
		Iluminado naturalmente			Não iluminado naturalmente		
Escritórios planta livre	Ocupação contínua						
	Ocupação variável						
Escritórios privados	Ocupação contínua						
	Ocupação variável						
Corredores	Geral						
Legenda:		Padrão de uso			Luz natural		 Sensor de ocupação

Fonte: Adaptado de SEAI, 2002.

2.4.1 Integração dos sistemas de iluminação artificial e natural

O conjunto de iluminação artificial pode ser operado manual ou automaticamente por algum dos três sistemas descritos abaixo (CALIFORNIA ENERGY COMISSION, 2001):

- Liga/Desliga: permite somente dois estados de permanência às lâmpadas. No primeiro passo, as lâmpadas estão desligadas, isso quando não há necessidade de iluminação artificial no ambiente. No segundo passo, as lâmpadas estão acionadas, operando com 100% de sua potência de energia.

- Múltiplos Passos: difere do sistema de dois passos no tempo de acionamento das lâmpadas de cada luminária: as lâmpadas são ligadas e desligadas separadamente. O controle três passos é usado com luminárias que possuem duas lâmpadas (passo 1= ambas as lâmpadas desligadas; passo 2= uma ligada; passo 3= ambas ligadas). Já o controle quatro passos é usado em luminárias que têm três lâmpadas (passo 1= todas as lâmpadas desligadas; passo 2= uma ligada; passo 3= duas acesas; passo 4= todas ligadas); e assim por diante.

- Dimerizável: utiliza um dispositivo chamado *dimmer* que controla a corrente elétrica liberada para alimentar a lâmpada resultando em uma variação da intensidade do fluxo luminoso. O uso de dimerizadores deve obedecer à compatibilidade com o tipo de lâmpada. A tabela 2 traz um resumo de lâmpadas, a necessidade de acessórios entre lâmpada e rede elétrica e a possibilidade de dimerização destas lâmpadas (FELDMAN e GONÇALVES, 1997):

Tabela 2 - Diversos tipos de lâmpadas e suas possibilidades de dimerização.

Lâmpada		Equipamento auxiliar	São Dimerizáveis?
Família	Tipo		
Incandescentes	Comuns	-	Sim
	Halógenas	Transformador	Sim
	H. Dicroicas	Transformador	Sim
Mista	Mista	-	Não
Fluorescentes	Circulares	Reator	Sim
	Comp. Integr.	Reator	Não
	Comp. Não integr.	Reator	Sim
	Tubulares	Reator	Sim
Descarga	V. Mercúrio	Reator	Não
	V. Metálico	Reator e Ignitor	Sim
	V. Sódio	Reator e Ignitor	Sim

Fonte: Adaptado de FELDMAN e GONÇALVES, 1997.

Quanto à escolha do sistema automático de controle, o comportamento da luz natural no ambiente se mostra determinante (ROBBINS, 1986). Recomenda-se o sistema de controle dois passos

(liga/desliga) em ambientes onde os níveis de iluminação natural superam os níveis de iluminância de projeto na maior parte do tempo ($E_{\text{interna}} > E_{\text{projeto}}$), ou em áreas onde os grandes saltos de iluminância não perturbam os ocupantes. Opções de controle múltiplos passos e dimerizáveis permitem utilizar a luz natural disponível quando a iluminância interna é menor que a iluminância de projeto ($E_{\text{interna}} < E_{\text{projeto}}$), sendo mais indicado, assim, para espaços onde os níveis de iluminação requeridos para as atividades não podem ser mantidos somente pela luz natural.

2.4.2 Economia de energia com sistemas de controle

Doulos et al (2008) destacam que controles de iluminação que realizam operação de liga e desliga ou dimerizável, devido à presença de ocupantes, programação de tempo, manutenção dos lumens têm grande potencial na redução do consumo de energia em iluminação. Essa economia de energia varia consideravelmente dependendo do tipo de controle, das características construtivas e da forma de ocupação do edifício. Na tabela 3, apresenta-se a economia a partir da utilização de diferentes sistemas de controles para diferentes tipos edifícios de escritórios, de acordo com Tsangrassoulis et al, 2004.

Tabela 3 – Economia de controles de iluminação em diferentes tipos de edifícios.

Tipo de controle	Escritório privado	Escritório planta livre –com janela	Escritório planta livre – sem janela
Sensores de ocupação	++	++	++
Agendamento de horário	+	++	++
Dimerizável luz natural	++	++	-
Limite de demanda	+	++	++

*Legenda: ++ = alta economia; + = economia; - = nenhum economia.

Fonte: Adaptado de Tsangrassoulis et al, 2004.

A quantificação dessa economia pode ser realizada a partir do monitoramento dos edifícios existentes ou através de simulações computacionais, sendo a última opção mais utilizada nos trabalhos atuais, pois possibilita fazer uma avaliação do consumo de energia ainda na fase de projeto (ASHRAE/IESNA 90.1 Standard, 2004).

Como exemplo de monitoramento de edifícios existentes, Galasiu et al. (2007) conduziram um estudo em campo para analisar a redução de consumo de energia a partir da introdução de diferentes sistemas de controle de iluminação artificial em um edifício de escritórios na cidade de Burnaby, Canadá. Os sistemas de controle utilizados foram: sensor de presença, sensor de luz e controle individual. Esses controles foram combinados a diferentes sistemas de iluminação artificial, como apresentados na tabela 4. Inicialmente, cada luminária consistia de 3 lâmpadas de 32W e quatro outras opções foram instaladas.

Tabela 4 - Opções dos dispositivos de controle e dos sistemas de iluminação artificial.

Opções de controles de luz	Opções de sistemas de iluminação artificial
A Sensor de presença B Controle individual C Sensor de luz natural D Presença + Controle individual E Presença + Luz natural F Controle individual + Luz natural G Todos os sensores combinados	Opção 1: 1 x 32W estática + 2 x 32W dimerizáveis 100% Opção 2: 1 x 25W estática + 2 x 32W dimerizáveis 50% Opção 3: 3 x 32W dimerizáveis 50% Opção 4: 3 x 32W dimerizáveis 100%

Fonte: Adaptado de Galasiu et al (2007).

Os sistemas foram monitorados durante 12 meses divididos em três períodos permitindo uso de controles diferentes: fase 1 (18/1 a 11/3) – opções A, B e D; fase 2 (12/03 a 02/10) – todas opções; fase 3 (03/10 a 31/12) – todas opções e campanha de conscientização dos usuários. A tabela 5 sintetiza a redução de consumo energético para cada cenário comparado ao uso total da potência instalada.

Tabela 5 - Resumo das economias de energia para vários cenários de controle comparado ao cenário de uso total da potência instalada.

	Como instalado			Opção 1		Opção 2		Opção 3		Opção4	
Economia%/Fases	1	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
A	29	35	38	35	38	38	40	52	54	52	54
B	20	11	5	11	5	11	5	15	7	15	7
C	-	20	11	32	16	34	18	29	16	47	24
D	40	40	39	40	39	43	42	59	56	59	56
E	-	45	44	51	46	55	49	66	62	75	66
F	-	24	14	34	19	37	21	35	20	51	27
G	40	47	44	52	47	56	50	69	64	76	67

Fonte: Adaptado de Galasiu et al (2007).

Analisando a contribuição de cada sistema isoladamente, o sensor de presença mostra-se como o mais eficaz, e o controle individual como a pior escolha. Além disso, considerando os sistemas combinados, há pouca diferença de economia de energia entre o uso de dois controles (presença + luz natural) e de três sistemas (opção G). Isso indica que a utilização de todos os controles disponíveis não corresponde a uma melhoria da eficiência energética na edificação, ou seja, economia de energia através do uso de 2 ou 3 sistemas de controle não é necessariamente a soma de cada um. Por fim, a introdução da campanha de conscientização dos usuários na fase 3 não resultou em maiores reduções no consumo energético; nesta fase, os níveis de economia foram menores comparados aos cenários sem campanha de conscientização.

Através de simulações computacionais, Roisin et al. (2008) avaliaram o consumo de energia em iluminação a partir do uso de diferentes sistemas de controle em uma sala de escritórios com uma abertura lateral. Foram analisados três controles de iluminação artificial: luz natural dimerizável (IDDS); ocupação liga/desliga (MDS); ocupação dimerizável (MDD). Os cálculos de consumo foram feitos para quatro orientações principais e comparados a um caso de referência em que a iluminação artificial permanecia acionada durante todo turno de trabalho. De acordo com os resultados (Figura 2.11), o único sistema influenciado pela orientação e localidade do ambiente foi o controle de luz natural dimerizável (IDDS), pois os outros dois (MDS e MDD) eram comandados pela presença de movimento – ou seja, não é afetada pela disponibilidade de luz natural. Considerando os sistemas individuais, o controle de luz natural dimerizável foi o mais eficiente com uma redução mínima no consumo de 45%, se comparando ao caso de referência (ambiente orientado ao Norte). Por fim, a integração de dois sistemas de controle garantiu maiores economias de energia principalmente pela combinação dos sistemas luz natural dimerizável (IDDS) e de ocupação liga/desliga (MDS).

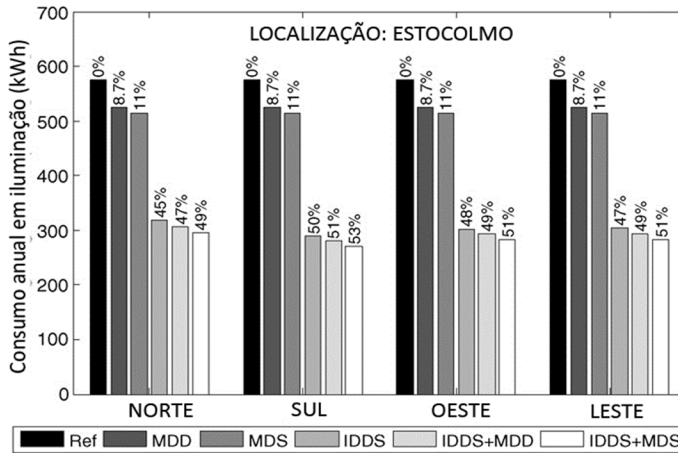


Figura 2.11 – Consumos (kWh) e reduções de energia (%) em iluminação.

Fonte: Adaptado de Roisin et al, 2008.

Bülow-Hübe (2008) investigou a disponibilidade de luz natural e o uso da iluminação artificial em edifícios de escritórios localizados na Suécia, através de simulações computacionais utilizando o programa Daysim. Foram analisados escritórios iluminados lateralmente com diferentes proporções de área de abertura na fachada (30, 60 e 100%) e instrumentos de sombreamento (persianas internas e brises externos). Para as simulações de uso do sistema de iluminação artificial, foram utilizadas quatro estratégias de controle: manual liga/desliga; sensor de ocupação liga/desliga; fotosensor dimerizável; combinação sensor de ocupação e fotosensor dimerizável. A partir disso, foram calculados os consumos de energia em iluminação para cada modelo, assumindo que ele permanece ocupado de 8 às 17h com intervalos para almoço e café, com iluminância de projeto de 500 lux, a densidade de potência instalada, de 12W/m². Se o ambiente permanecesse ocupado 100% do tempo, ou seja, 9 horas por dia, o gasto em iluminação artificial ficaria em 28kWh/m²/ano. Assumindo o acionamento manual, esse gasto se reduz entre 20 e 23kWh/m²/ano, dependendo do tipo de janela. Com um sistema dimerizável controlado por fotossensor, o uso da luz artificial diminuiu consideravelmente, atingindo uma média de 11 a 18 kWh/m²/ano. Esse estudo demonstra, por simulação computacional, que é possível economizar por volta de

50% de energia em iluminação com o uso sistemas automáticos de controle da luz artificial, em relação ao uso de controle manual.

Quanto às estratégias de controle da luz artificial, ligadas à luz natural disponível, pesquisas atuais mostram que, além da redução do gasto de energia em iluminação, o consumo energético global do edifício também é reduzido devido à diminuição do ganho de calor causado pela luz artificial (LI et al, 2006; ARIES e NEWSHAN, 2008). Além disso, nos ambientes de escritório, a introdução de controles da luz artificial, integrados à luz natural, faz-se necessária para obter um controle correto do sistema de iluminação artificial, utilizando a luz natural de forma eficaz (CHO, 2007 apud YANG e NAM, 2010).

A partir de revisão de literatura, Dubois e Blomsterberg (2011) concluem que o aproveitamento da luz natural através de dimerização pode causar elevada redução do gasto de energia, mas também eleva os custos de manutenção do sistema. Para ambientes com luz natural disponível, um sistema liga-desliga sensível à luz natural pode apresentar um melhor custo-benefício que um sistema dimerizável. Além disso, muitos estudos indicaram que o aproveitamento da luz natural pode ser alcançado em ambientes periféricos com razoável proporção de área de janela, não maior que 30-40%. Um aumento no PAF não reduz substancialmente o consumo de energia em iluminação, no entanto, aumenta a possibilidade de desconforto por brilho e superaquecimento.

2.4.3 Aceitação dos usuários

Os controles automáticos projetados para manter uma iluminância constante, muitas vezes, são menos desejáveis pelos ocupantes que os controles manuais. Newsham et al. (2008) afirmam que as pessoas são muito menos sensíveis às mudanças de iluminância no plano de trabalho que os fotossensores prevêm, devido à adaptabilidade do sistema visual humano. Em um estudo, Newsham et al. (2008) encontraram que somente 20% dos participantes usaram controles dimerizáveis para intervir nas condições luminosas quando os níveis de luz foram reduzidos por 35% das configurações preferidas sobre um período maior que 20 minutos. Outro ponto importante

sobre a aceitação dos usuários é a frequência de ocorrência de grandes saltos de níveis de iluminação, principalmente nos sistemas liga/desliga. A alteração constante do estado das lâmpadas pode atrapalhar na dinâmica de trabalho do ambiente e causar irritação nos usuários (CALIFORNIA ENERGY COMISSION, 2001). Para evitar esse liga/desliga, propõe-se uma zona morta que é caracterizada por uma faixa de iluminâncias acima do nível de projeto na qual as lâmpadas ainda permanecerão ligadas. Como conclusão, um controlador que imite alguns desses aspectos comportamentais pode aumentar a aceitabilidade dos usuários em relação aos sistemas automáticos.

2.4.4 Modelos comportamentais

O ato de acionar um interruptor manual pelos usuários para controlar a iluminação artificial é uma ação individual, no entanto, consciente e consistente (PIGG et al, 1996; LOVE, 1998; REINHART e VOSS, 2003); e, está diretamente relacionado à ocupação e aos níveis de iluminação natural (LOVE, 1998; NEWSHAM et al., 2004; BOYCE et al., 2006; GALASIU e VEITCH, 2006; NEWSHAM et al., 2008). A intenção de transmitir uma informação é outro ponto que pode levar os usuários a acionar a iluminação artificial, por exemplo, comunicar que o ambiente ainda está em uso.

Em um estudo sobre a predição do uso da iluminação artificial, Hunt (1979) encontrou forte relação entre a probabilidade de ligar a iluminação elétrica no início do período de expediente e os níveis de iluminância mínima da luz natural na área de trabalho. Conforme visto na figura 2.12, essa correlação não se caracteriza linear.

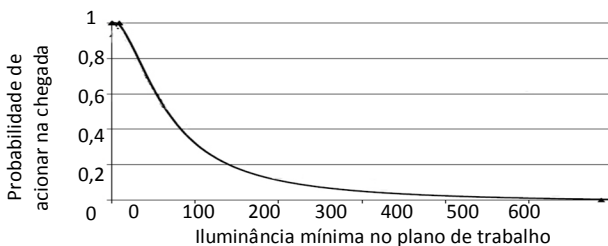


Figura 2.12 – Relação entre a probabilidade de acionamento do sistema artificial no início do expediente e o nível de iluminância no plano de trabalho.

Fonte: Adaptado de Hunt, 1979.

Hunt (1979; 1980) afirma também que o ciclo de ocupação do espaço determina a frequência com que as pessoas ligam e desligam as lâmpadas durante um dia de trabalho. A partir do momento em que são ligadas, as lâmpadas somente são desligadas quando o espaço fica totalmente desocupado. Além disso, Reinhart e Walkenhorst (2001) e Reinhart e Voss (2003) adicionaram que todas as lâmpadas do ambiente costumam ser acionadas simultaneamente, ou seja, não há discriminação sobre circuitos separados.

Em contraste com os trabalhos anteriores (HUNT, 1979; 1980), Yun et al (2012) identificam, nos escritórios monitorados em seu estudo de campo, que o acionamento da iluminação artificial pelo usuário não está estaticamente relacionado à iluminação externa, porém tem relação estreita com os padrões de ocupação. Segundo o autor, isso revela que apenas os sistemas automáticos podem propiciar redução de uso do sistema de iluminação artificial, quando considerado o aproveitamento da luz natural disponível no ambiente interno (YUN et al, 2012).

A sistematização desses padrões individuais de acionamento da luz artificial resulta nos modelos comportamentais de controle da luz artificial, que combinados a perfis anuais da luz natural e de ocupação ajudam na predição da demanda anual de energia para os sistemas de iluminação artificial. Newsham et al. (1995) desenvolveram o Lightswitch, um modelo estocástico² para prever a chegada, saída e ausência dos ocupantes com intuito integrá-lo ao cálculo de uso da iluminação artificial nos ambientes de trabalho. Baseado no modelo original do Lightswitch e em novos levantamentos de campo, Reinhart (2004) derivou um algoritmo de simulação, Lightswitch-2002, para predizer o desempenho energético em iluminação de sistemas de

² Estocástico: Modelo que incorpora a aleatoriedade nas observações de padrões de ocupação. Por exemplo, em um edifício real de escritórios, embora o horário de trabalho seja 8:30h, nem todas as pessoas chegam exatamente neste horário. Algumas pessoas podem chegar mais tarde, outras podem fazer atividades externas, e outras ainda podem não ir ao escritório. Esse comportamento não é uma regra para todos os dias e edifícios de escritórios.

persianas e iluminação artificial controlados manual ou automaticamente em escritórios privados e duas pessoas.

Esses algoritmos estão sendo acoplados em programas de simulação energética, contribuindo para uma previsão mais realista das demandas energéticas do edifício (YUN et al, 2012). Programas como Lightswitch Wizard (NEWSHAN et al., 1995) e Daysim (REINHART, 2004) utilizam algoritmos para avaliar o impacto da ocupação e do controle manual na predição do consumo energético em iluminação. Bourgeois et al.(2006) discutem a introdução de modelos de controle baseados na ocupação sub-horária (SHOCC) que integra modelos comportamentais avançados nos programas de simulação energética, tal como ESP-r.

2.5 PROGRAMAS COMPUTACIONAIS

Avaliar a luz natural em um ambiente é uma tarefa complexa, pela sua natureza dinâmica e específica. Para a avaliação, exige-se conhecer as variáveis da localidade em que a edificação se encontra, bem como as características geométricas e físicas do ambiente e do entorno imediato. Anos atrás, essas análises eram possíveis apenas por meio de cálculos ou construção de protótipos e medições in loco (AMORIM, 1997), no entanto, nos últimos anos, o uso da simulação computacional vem crescendo consideravelmente em relação a outros métodos, permitindo o desenvolvimento de modelos mais complexos.

Segundo Mardajevic (2004), a simulação computacional da luz natural oferece uma série de vantagens quando comparada, por exemplo, a técnicas que envolvem a construção de modelos físicos, devido à velocidade na construção dos modelos, à facilidade na produção de imagens e de vídeos e à variedade de opções de visualização dos resultados.

De acordo com Reinhart (2010), para uma análise rigorosa de iluminação natural de um projeto, são necessárias três etapas principais: a) estimar a quantidade física de luz disponível no edifício; b) converter os resultados em medidas de desempenho da luz natural; c) interpretar as medidas de desempenho, auxiliando nas tomadas de decisão do projeto.

O uso da simulação computacional e, pesquisas no ambiente construído, na área de iluminação natural, tem disseminado-se rapidamente nas últimas décadas. Cabús (2005) justifica devido ao avanço na tecnologia de computadores, tornando possível o desenvolvimento de programas baseados em metodologias avançadas.

As análises de desempenho da iluminação natural podem ser realizadas através de medidas estáticas ou dinâmicas. As simulações estáticas representam condições de iluminação para uma única situação determinada e seus resultados são expressos geralmente na forma de imagens foto-realísticas ou por valores numéricos de iluminância e, como medida mais comum, o Fator de Luz Diurna. Já as simulações dinâmicas consideram todas as condições de iluminação natural durante o ano e traçam o perfil anual de iluminação natural; seus resultados são expressos como a ocorrência do nível de iluminação de interesse. As simulações dinâmicas são consideradas mais vantajosas por considerar variações horárias e sazonais na distribuição de iluminação natural (REINHART et al., 2006). A tabela 6 apresenta alguns programas que realizam simulações estática ou dinâmica da luz natural.

Tabela 6 – Programas de simulação da luz natural.

Simulações Estáticas	Simulações Dinâmicas
Dialux	Adeline*
Relux	Daysim*
Ecotect	ESP-r*
Apolux	Lightswitch Wizard*
AGI32	SPOT*
Radiance	Troplux

*programas que utilizam o algoritmo do Radiance para simulação

Fonte: adaptado de Reinhart et al (2006).

Conforme indicado na tabela, vários programas utilizam o algoritmo do Radiance³ para simulação. Segundo Reinhart et al (2006),

³ O programa Radiance, desenvolvido por Greg Ward no Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) baseia-se no método do raio traçado, para prever iluminâncias internas e a distribuição das luminâncias em ambientes de geometria complexa, sob qualquer condição de céu (REINHART, 2010).

essa combinação torna as ferramentas mais sofisticadas e mais fáceis de serem utilizadas.

2.5.1 Programa Daysim

O programa Daysim é um dos simuladores desenvolvidos com o intuito de calcular as iluminâncias para o período de um ano, de forma rápida e independente do tipo de céu (REINHART, 2010). Ele desenvolve a análise de iluminação natural através do *Daylight Coefficient*⁴, baseando-se no programa *Radiance* que emprega o método do raio traçado⁵, e o modelo de céu de Perez⁶ para calcular iluminâncias internas de um ambiente no período de um ano, sob qualquer condição de céu (REINHART e WALKENHORST, 2001).

Para realizar a simulação, modela-se, em formato tridimensional, o ambiente a ser analisado, onde também são definidas

⁴ O método de Daylight Coefficients foi desenvolvido por Tregenza (1983; 1993) para calcular o nível de iluminação natural interior sob qualquer tipo de céu. A idéia consiste em dividir a abóbada celeste em parcelas para posteriormente calcular a contribuição de cada uma delas para nível luminoso final em um ponto determinado do ambiente. Segundo REINHART (2010), a principal vantagem deste método é que depois de ter calculado a contribuição de todas as parcelas para um ponto, é mais fácil calcular a iluminância ou luminância final nesse ponto sob qualquer condição de céu, já que para calcular a contribuição do céu é suficiente combinar a contribuição de cada parcela (Coeficiente) com sua luminância.

⁵ O conceito básico é que o observador vê um ponto em uma superfície como resultado da interação entre a superfície, naquele ponto, com os raios emanados de qualquer lugar na cena, seja através da iluminação direta de uma fonte, seja por reflexão ou refração na incidência sobre outras superfícies (CLARO, 1998, p. 8).

⁶ Foram desenvolvidos por Richard Perez (1990, apud REINHART, 2010). Os modelos de céu utilizam data, hora, local e valores da radiação direta e difusa para calcular a distribuição luminosa do céu para uma condição específica.

as propriedades ópticas das superfícies. O Daysim utiliza dados anuais de radiação solar de arquivos climáticos completos para calcular o perfil anual de iluminâncias, o que permite a avaliação das medidas estáticas (Fator de Luz Diurna) e dinâmicas (Autonomia da Luz natural e Iluminâncias úteis da luz natural) da luz natural para cada ponto de referência.

Além disso, o programa simula o desempenho do sistema de iluminação artificial de acordo com diferentes padrões de uso (tipo de usuário e horas de ocupação), iluminância de projeto, potência instalada e mecanismo de controle de iluminação artificial – existem seis controles disponíveis no programa (REINHART, 2010). A possibilidade de se escolher diferentes sistemas de controle da luz artificial, manuais ou automáticos, é uma vantagem do programa.

Para obter os dados da iluminação artificial, o Daysim também integra o algoritmo comportamental Lightswitch. Os dados de entrada do algoritmo são perfis de ocupação e iluminâncias que, combinados a padrões probabilísticos de acionamento, produzem o estado da iluminação artificial durante o ano completo.

Em um estudo de validação do programa Daysim 3.0, Reinhart e Breton (2009) compararam resultados de desempenho da luz natural obtidos a partir de simulação computacional utilizando programas Daysim e 3DS MAX e de medições reais de iluminância interna no local. Os casos testes envolvem um único ambiente com cinco sistemas de aberturas de diferentes graus de complexidade: vidro claro sem sombreamento (TC1), *lightshelf* (TC2), painel translúcido (TC3), venezianas externas (TC4) e venezianas internas (TC5). Apesar de algumas limitações, os resultados indicam que os dois programas avaliam com sucesso as condições de iluminação natural no ambiente através de medidas de iluminâncias.

A figura 2.13 mostra que a distribuição de Autonomia de Luz Natural apresenta-se bastante semelhante para o caso com vidro transparente claro (TC1) com máximo de 4% de desvio. No entanto, aumentando a complexidade dos sistemas de aberturas, a diferença entre os resultados simulados e medidos se eleva: na simulação do caso teste TC5 (persianas internas) utilizando o Daysim, há uma

divergência de 11 pontos percentuais em relação as medições. Os autores afirmam que existe a necessidade de aperfeiçoamento das ferramentas que modelam os sistemas complexos de aberturas, no entanto, consideram que os erros de simulação, na faixa de 4 a 11%, são pequenos pela complexidade dos modelos e, ainda assim, podem ser úteis para auxiliar nas decisões de projeto.

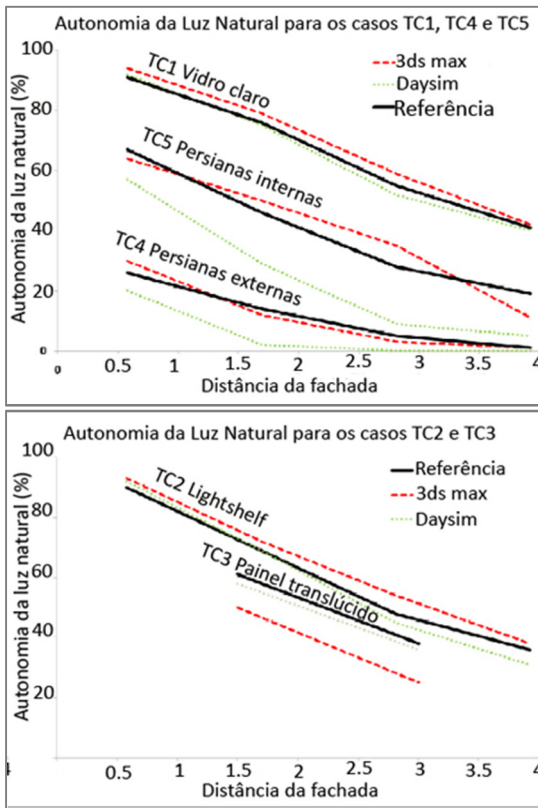


Figura 2.13 – Autonomias da Luz Natural simuladas e medidas (Referência) para os cinco casos testes.

Fonte: Adaptado de Reinhart e Breton (2009).

Vários trabalhos já utilizaram o programa Daysim para a realização das simulações dos sistemas de iluminação natural e artificial. Ramos (2008) analisou o cálculo da iluminação natural

comparando as iluminâncias internas calculadas através dos programas EnergyPlus, Daysim/Radiance e Troplux, e verificou-se deficiências no EnergyPlus: os cálculos da parcela de luz refletida e das iluminâncias externas forma maiores do que as reais. Diante das limitações do programa EnergyPlus para o cálculo da iluminação natural interna, Didoné (2009) utilizou uma metodologia de simulação integrada para análise da influência do aproveitamento da luz natural no consumo energético de edifícios de escritórios para a cidade de Florianópolis-SC. Foram utilizados dois programas de simulação: o Daysim, para a análise anual da iluminação natural e o EnergyPlus para a verificação do desempenho energético da edificação.

A abordagem integral das questões de disponibilidade da luz natural, conforto visual e consumo de energia nos edifícios por meio de simulações computacionais tem avançado com o surgimento da tecnologia Building Information Modeling, cujo conceito é a integração de múltiplas informações e documentações de forma coordenada. Reinhart e Wienold (2011) propõem um painel de instrumentos que auxilia na análise integral da luz natural na arquitetura baseando-se em simulações computacionais. O programa Daysim foi utilizado para obter resultados de distribuição e quantidade de luz natural no ambiente interno, bem como a probabilidade de brilho e desconforto visual dos usuários; e através do EnergyPlus, obtiveram-se valores de uso de energia e emissões de CO₂. Os resultados dessas simulações foram incorporados em um painel de instrumentos possibilitando obter um panorama geral do desempenho do ambiente iluminado naturalmente nos seguintes quesitos: desempenho da luz natural, conforto visual e consumo energético.

3 MÉTODO

Neste capítulo são apresentados os métodos e as técnicas que devem ser utilizados para o desenvolvimento da pesquisa com intuito de se atingir os objetivos propostos.

3.1 SÍNTESE

O trabalho consiste na avaliação da importância do zoneamento da iluminação natural e da escolha de um controle da luz artificial adequado às características luminosas para realizar a integração do sistema de iluminação artificial e natural. Como ferramenta computacional, utiliza-se o programa Daysim/Radiance, desenvolvido pelo National Research Council Canada (NRCC) e o Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, na Alemanha, pois possibilita desenvolver análise do comportamento dinâmico da luz natural de modelos tridimensionais para o período de um ano, bem como processa o acionamento do sistema de iluminação artificial, considerando a luz natural disponível, através do uso de diferentes sistemas de controle.

Considerando que a base de dados climáticos para simulação utilizada nesse trabalho é da cidade de Florianópolis/SC, as características dos modelos para testar a influência das zonas de iluminação natural no tempo de funcionamento do sistema de iluminação artificial são definidas a partir das informações levantadas por Santana (2006) para a tipologia predominante de edifício de escritório nesta cidade e de outros trabalhos que produziram modelos computacionais para Florianópolis (SOUZA, 2003; DIDONÉ, 2009).

3.2 CARACTERÍSTICAS DOS MODELOS PARA SIMULAÇÃO

Os modelos produzidos para as análises são representados por paralelepípedos ortogonais com fachadas frontais e profundidades variáveis. Conforme vistos na figura 3.1, os modelos 1 e 2 possuem fachada frontal medindo 8m de largura e profundidade variável em 8m e 16m, respectivamente, e, o terceiro modelo possui fachada frontal de 16m e profundidade medindo 8m. Somente três modelos arquitetônicos são criados para simulação, pois não é objetivo principal do trabalho avaliar a influência das características físicas e geométricas

dos ambientes na admissão de luz natural. A simulação da luz natural tem como intuito determinar o zoneamento de iluminação natural a partir da quantidade e distribuição da luz admitida nos ambientes.

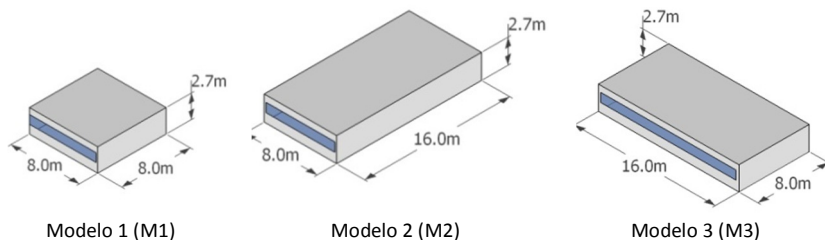


Figura 3.1 – Perspectiva dos modelos para simulação.

As refletâncias das paredes, as transmitâncias dos vidros, os padrões de ocupação e tipo de sistema de iluminação artificial são iguais para todos os modelos e baseiam-se em trabalhos anteriores (STEFFY, 1990; SOUZA, 2003; DIDONÉ, 2009). Por outro lado, alguns parâmetros arquitetônicos estão combinados, como posicionamento e área das janelas, pé-direito e orientação da fachada principal.

3.2.1 Propriedades das superfícies opacas e translúcidas

As refletâncias das superfícies internas – teto, paredes e piso – são retiradas das refletâncias típicas de ambientes de trabalho sugeridas por Steffy (1990). Segundo este autor, os valores são baseados em refletâncias internas reais e não valores teóricos inatingíveis (Tabela 7).

Tabela 7– Refletâncias de superfícies em ambientes de trabalho.

Superfície	Refletância	Material
Pisos	10 a 20%	Carpete
		Madeira
		Lajota
Tetos	70% ou mais	Gesso
		Tetos pintados com cores claras
Paredes	30 a 50%	Paredes pintadas com cores médias

Fonte: STEFFY, 1990.

Diante das refletâncias sugeridas na tabela 3.3, são adotados nos modelos simulados os seguintes valores de refletância para o teto, paredes e piso: 70%, 50% e 20%.

As áreas de abertura são constituídas de vidro fumê, com lâmina de 6mm, que possui transmissão luminosa de 0,626. A escolha desse vidro baseia-se no trabalho de Santana (2006), onde foi observado que 40% das edificações analisadas em Florianópolis possuem este tipo de vidro.

3.2.2 Sistema de iluminação artificial e padrão de ocupação

Considerando que a análise de projetos luminotécnicos não faz parte dos objetivos deste trabalho – o principal objetivo é verificar a influência da divisão do plano luminoso em zonas no acionamento da luz artificial –, não é definido um projeto luminotécnico específico para cada ambiente. Para realizar a simulação do sistema de iluminação artificial, pressupõe-se, hipoteticamente, que a iluminação artificial está distribuída uniformemente em toda área do ambiente, assemelhando-se a uma malha de luz artificial, podendo essa malha ser dividida de várias formas, em função do resultado de zoneamento da iluminação natural. Para essas simulações, adota-se a iluminância de projeto com valor de 500 lux conforme os fatores determinantes para as atividades de escritório, segundo a NBR 5413 (ABNT, 1992). Esse valor considera a idade dos ocupantes do ambiente de escritório inferior a 40 anos, a velocidade e a precisão das atividades sem importância, porque não são consideradas tarefas de risco, e a refletância do fundo da tarefa considerada foi de cor clara (>70%), somando um peso equivalente a menor taxa de iluminância para a atividade de escritório (500 lux).

Para avaliação e comparação do desempenho de diferentes sistemas de controle, são utilizados os controles da iluminação artificial disponíveis no programa de simulação da luz natural Daysim. Nesse programa, os sistemas de controle são divididos em duas categorias principais: estado liga-desliga e sistema de dimerização; o funcionamento desses sistemas relaciona-se a ocupação ou ao nível de iluminação presente no plano de trabalho. No quadro 1, os sistemas de

controle da iluminação artificial utilizados estão sintetizados com suas respectivas características.

Controle de iluminação	Características
Manual liga-desliga próximo a porta	Os próprios usuários fazem o controle do sistema de iluminação
Sensor liga-desliga controlado por um fotosensor	Lâmpadas desligam após 10 min de o nível de iluminação no plano de trabalho permanece igual ou superior a iluminância limite.
Sistema dimerizável controlado por um fotosensor	Fotocélulas dimerizam o nível de iluminação das lâmpadas até o limiar de iluminância adequado no plano de trabalho

Quadro 1 – Descrição dos sistemas de controle de iluminação artificial.
Fonte: Reinhart (2010).

Sabe-se que o estado da iluminação elétrica ao longo do ano é derivado da relação do perfil anual de ocupação e das iluminâncias no plano de trabalho. No caso mais específico do controle manual, optou-se por não apresentar graficamente os resultados para o sistema de controle manual (liga-desliga), porque os dados de acionamento, fornecidos pelo programa Daysim, foram idênticos para todos os casos arquitetônicos, independente das características geométricas do ambiente. Para essa situação, o programa pressupõe que os usuários acionam a iluminação artificial no início da manhã, quando entram no ambiente, e a desligam somente no final do turno de trabalho, à noite, quando saem da sala. Desse modo, considerando que o ambiente permaneceu ocupado 2871 horas ocupadas no ano, esse valor representa as horas do ano nas quais o sistema artificial permaneceu ativado utilizando 100% da sua potência. Nesse sentido, os ambientes são avaliados utilizando os sistemas automáticos liga-desliga e dimerizável.

Quanto ao padrão de ocupação, utiliza-se uma *schedule* simplificada cujo período ocupado corresponde de 8h às 19h em todos os dias úteis da semana; nos fins de semana não há ocupação.

3.2.3 Tamanho, tipo e posicionamento das aberturas

A posição e área de janela são importantes parâmetros de análise do comportamento luminoso. Para este trabalho, são simulados

três posicionamentos e três tamanhos de aberturas na fachada que podem caracterizar diferentes distribuições e níveis de luz natural interna no ambiente, possibilitando determinar zoneamentos variados da luz natural.

Os posicionamentos de janelas são unilateral, adjacente e oposta. Conforme apresentado na figura 3.2a, a iluminação unilateral é feita por uma janela colocada apenas na parede frontal do modelo; a adjacente é feita por janelas localizadas na parede frontal e na lateral adjacente à direita da parede frontal (figura 3.2b); e a iluminação oposta é feita por janelas colocadas na parede frontal e na parede posterior do modelo, oposta à frontal (figura 3.2c).

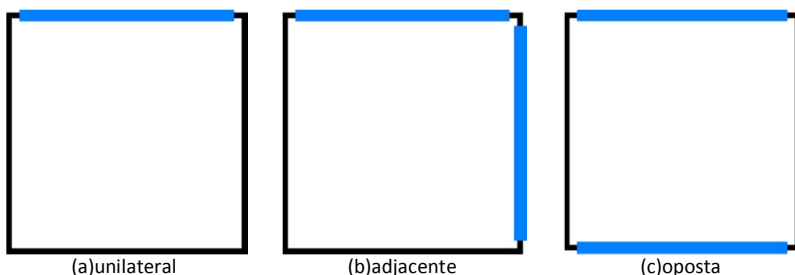


Figura 3.2 - Posicionamento das janelas nos modelos.

Os tamanhos das janelas são definidos a partir do levantamento de Santana (2006) sobre os percentuais de janela nas fachadas principais e secundárias. Segundo este trabalho, o maior número de fachadas principais, 34%, apresenta percentual de área de abertura (PAF) na faixa entre 30,1 e 40%. Em seguida, os PAFs variam entre 20,1 e 30% em cerca de 20% dos edifícios levantados. Para as fachadas secundárias, o percentual de área de abertura na fachada (PAF) mais encontrado está entre 10,1 e 20%. Diante desses dados, para este trabalho, conforme apresentado na tabela 8, são utilizados três valores de PAFs para as janelas principais: 20 e 40%, 70%. O PAF70 é inserido com intuito de avaliar a influência das aberturas maiores no zoneamento. A área de abertura na fachada secundária possui valor constante de 20% da área da parede, pois esse foi o valor mais

representativo nas fachadas secundárias levantadas por Santana (2006).

Tabela 8 – Percentual de área de abertura na fachada (PAF) para fachadas principais e secundárias.

Fachada principal	Fachada secundária
20%	20%
40%	20%
70%	20%

A distribuição da área de janela na fachada constitui-se de uma única janela em fita com largura fixa equivalente a largura da fachada e altura relativa ao PAF da abertura (Figura 3.3 - a, b, c).

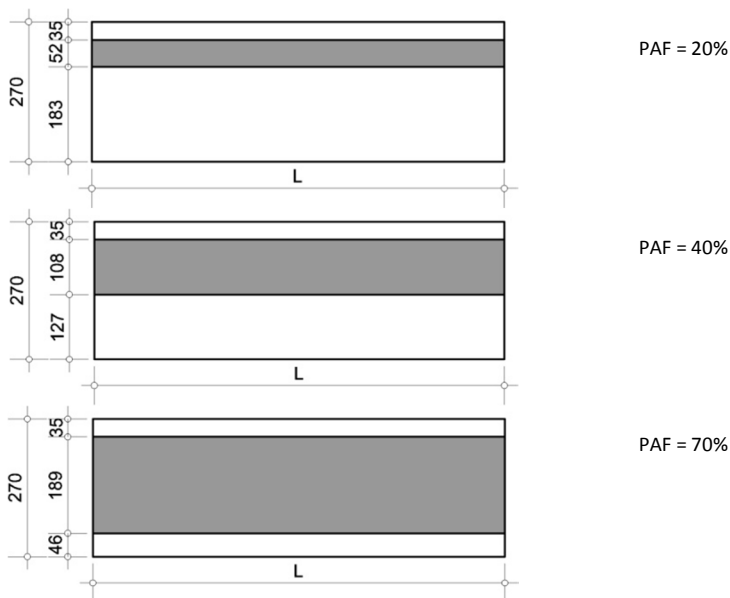


Figura 3.3 – Área das aberturas nas fachadas.

3.2.4 Orientação da fachada principal

Os ambientes são avaliados com a fachada principal (onde está localizada a abertura principal) orientada nas quatro orientações

cardiais principais: Norte (Azimute=0°), Leste (Azimute=90°), Sul (Azimute=180°) e Oeste (Azimute=270°). O entorno não é levado em consideração para a análise do comportamento da luz natural, pois esta variável é muito complexa devido às diversas configurações urbanas, o que não influi no presente trabalho.

3.2.5 Altura do ambiente

Para avaliar o impacto da altura do ambiente no comportamento luminoso e no zoneamento luminoso, são definidas duas medidas de pé direito para todos os modelos simulados: 2,70m e 3,50m. O primeiro serve como base para gerar os tamanhos das janelas segundo os valores de percentual de área de abertura na fachada – indicados no item anterior. A partir desses modelos, são criados os modelos com altura de 3,50m, mantendo a mesma área de abertura e aumentando o peitoril da janela, o que significa um percentual de área de abertura na fachada diferente. A figura 3.4 representa a relação entre a variação do pé direito e o tamanho das aberturas.

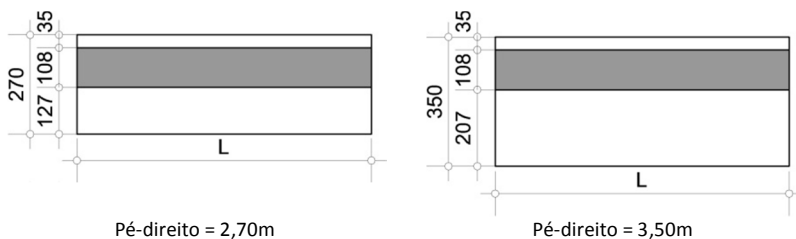


Figura 3.4 – Alturas dos ambientes

3.3 ZONAS DE ILUMINAÇÃO NATURAL

Para determinar as zonas de iluminação natural, é necessário conhecer, primeiramente, a distribuição e a quantidade de luz disponível no ambiente interno. O comportamento da iluminação natural é avaliado através da medida dinâmica Autonomia da Luz Natural, que equivale à porcentagem das horas ocupadas por ano, nas quais um nível de iluminância pode ser mantido apenas pela iluminação natural (REINHART e WALKENHORST, 2001). A escolha de

uma medida dinâmica ocorre devido à forma de análise do desempenho da luz natural, na qual é feita para todas as horas do ano. Isso permite avaliar o acionamento horário do sistema de iluminação artificial e, conseqüentemente, o tempo final de uso do sistema num período de um ano completo.

3.3.1 Simulação da luz natural

As simulações de iluminação natural são realizadas no aplicativo Daysim 3.1. Para efetuar-las, os modelos são desenhados no programa *SketchUp* e inseridos no programa Daysim em formato 3DS. Uma malha de pontos é tabelada em coordenadas x e y, usando-se o Blocos de Notas e salvo em extensão .pts, para informar os pontos de determinação do comportamento luminoso. Nas figuras 3.5 (a, b, c) estão indicadas as malhas do plano para análise para cada modelo. Elas estão localizados a uma altura de 85cm do piso e possuem pontos distanciados 50cm entre si e 50cm da parede.

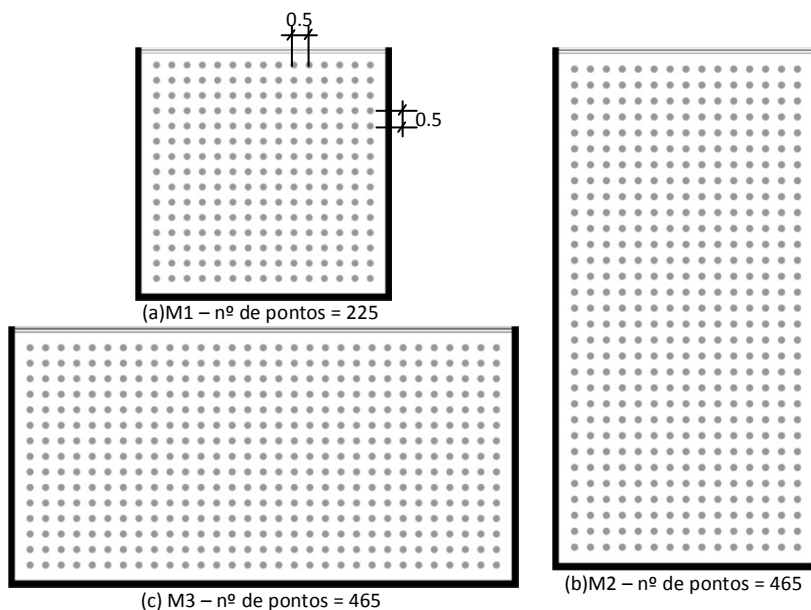


Figura 3.5 – Malhas de pontos do plano de análise – (a) modelo 1; (b) modelo 2; (c) modelo 3.

As simulações são realizadas com o uso de um arquivo climático de referência para a cidade de Florianópolis/SC como dado de entrada.

Após introdução dos parâmetros para cada modelo, as medidas de Autonomia de Luz Natural são calculadas para cada ponto da malha tomando como base valores específicos de iluminância mínima. O próximo tópico apresentará essa etapa mais detalhadamente, o que facilitará a compreensão dessa etapa das simulações.

3.3.2 Determinação das zonas de iluminação natural

As zonas de iluminação natural são caracterizadas por áreas que apresentam uma distribuição de iluminâncias com características similares. O procedimento para determinação das zonas baseia-se na metodologia de Robbins (1986), empregada também por Souza (2003) em seu estudo. A determinação das zonas de iluminação dos modelos simulados é realizada através das etapas descritas a seguir:

1) Inicialmente, para cada ponto do plano de análise são determinados dados da medida dinâmica Autonomia da Luz Natural tomando como referência diferentes níveis mínimos de iluminância. Esses níveis de iluminância são baseados nas faixas de iluminância definidas por Robbins (1986) para determinação das zonas de iluminação. Os valores de iluminância dos limites das zonas são calculados, a partir da iluminância mínima, multiplicando-se quatro vezes seu valor por múltiplos de 3: (E_{\min}); ($3 \times E_{\min}$); ($9 \times E_{\min}$); ($27 \times E_{\min}$); e ($81 \times E_{\min}$).

É importante ressaltar que é definido o valor de 2500 lux como o último nível de iluminância válido para determinar limites entre a penúltima e a última zona, mesmo que o valor resultante do cálculo apresentado acima ultrapasse 2500 lux. A divisão em zonas de iluminâncias superiores a 2500 lux mostra-se irrelevante para a compatibilização dos sistemas de iluminação natural e artificial, pois outras questões ganham importância como desconforto visual e térmico.

2) Para este estudo, assume-se 50 lux como sendo a iluminância mínima (SOUZA, 2003). Sendo assim, as medidas de Autonomia da Luz Natural são simuladas para os níveis de 50 lux, 150 lux, 450 lux, 1350 lux e 2500 lux, ou seja, são encontradas as porcentagens das horas ocupadas por ano, nas quais o nível de iluminância (50 lux, 150 lux, 450

lux, 1350 e 2500 lux) é mantido apenas pela luz natural. Esses valores de Autonomia correspondem os limites das zonas de iluminação – numeradas de 0 a 5 - conforme apresentado na figura 3.6.

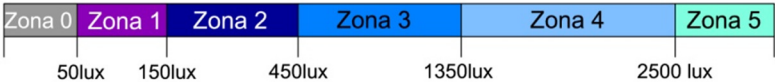


Figura 3.6 – Limites das zonas de iluminação natural.

3) O passo seguinte é identificar as frequências de ocorrência das iluminâncias pertencentes a cada zona a partir dos valores de Autonomia de Luz Natural. É importante destacar que esse passo assemelha-se ao método de obtenção da medida dinâmica Iluminâncias Úteis da Luz Natural (UDI), que também é calculada no programa Daysim. No entanto, não são utilizados os dados de UDI resultantes da simulação devido à limitação da quantidade de faixas predeterminadas e à impossibilidade de alterar os limites de iluminância para cada faixa. Dessa forma, para determinar a porcentagem de tempo que ocorrem iluminâncias dentro de cada zona para cada ponto simulado, cálculos simples são feitos conforme apresentado na tabela 9. Vale lembrar que a soma de todas as zonas (Z0 a Z5) deve sempre resultar 100%.

Tabela 9 - Cálculo das faixas de ocorrência para cada faixa predeterminada para determinação do zoneamento luminoso.

Zonas	Fórmula para cálculo das porcentagens de tempo que ocorrem em cada zona de iluminação natural.
Zona 5	$Z5 = DA(2500)$
Zona 4	$Z4 = DA(1350) - DA(2500)$
Zona 3	$Z3 = DA(450) - DA(1350)$
Zona 2	$Z2 = DA(150) - DA(450)$
Zona 1	$Z1 = DA(50) - DA(150)$
Zona 0	$Z0 = 100(\%) - Z1 - Z2 - Z3 - Z4 - Z5$

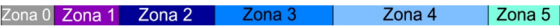
4) Após calculadas as frequências de ocorrência de cada zona, são montadas planilhas que resumem os resultados conforme exemplo da Tabela 10. Cada linha representa um ponto da malha de análise com os seus respectivos valores de frequência de ocorrência para cada zona – zonas 0 a 5. Em seguida, marca-se o maior valor de frequência de ocorrência para cada ponto utilizando as cores da legenda dos limites

das zonas, o que possibilita identificar o intervalo de iluminâncias (zona) predominante em cada ponto.

Tabela 10 – Porcentagem de tempo que cada zona ocorre em cada ponto do modelo com a marcação em cores do intervalo de maior ocorrência.

Ponto	Zona 0	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
1	8	3	4	14	13	58
2	8	3	4	14	20	51
3	8	4	4	22	28	34
4	8	4	6	34	31	17
5	8	5	8	48	23	8
6	9	5	12	57	15	2
7	9	6	15	59	9	2
8	9	8	19	59	4	1
9	10	9	28	53	0	0
10	11	9	36	44	0	0
11	12	11	52	25	0	0
12	12	12	55	21	0	0
13	12	13	59	16	0	0
14	13	15	62	10	0	0

Legenda:



5) Após marcação das ocorrências mais altas em cada ponto, esses valores são representados graficamente respeitando a escala de cores das zonas de iluminação natural como mostra a figura 3.7. Esse resultado gráfico permite esboçar o zoneamento do plano luminoso através de análise visual (ver linha tracejada da Figura 3.7).

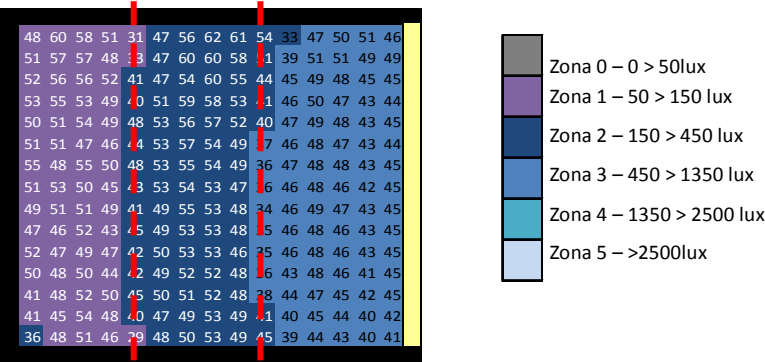


Figura 3.7 – Proposta de divisão do plano iluminado em zonas.

Para traçar o zoneamento, são estipuladas área e profundidade mínimas para cada zona. A área mínima se define pela relação de 1/10 da área total do ambiente, ou seja, um ambiente com área de 64m² não deve ter zonas com área inferior a 6,4m². Quanto à profundidade da zona com relação à janela, determina-se como valor mínimo de 1.75 metros, para possibilitar a integração com o sistema de iluminação artificial e permitir o acionamento independente da zona.

6) Definido um esboço do zoneamento a partir da medida Autonomia da luz natural, o próximo passo é indicar a qual zona a parcela pertence e definir a área de cada zona de iluminação, conforme apresentado na figura 3.8.

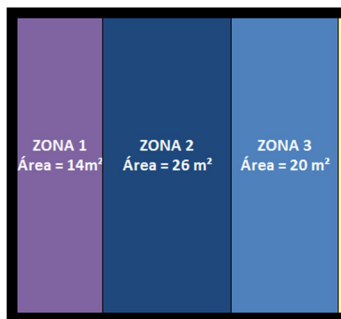


Figura 3.8 – Zonas de iluminação natural.

As zonas de iluminação natural são analisadas segundo três aspectos: configuração espacial, área e magnitude. A configuração espacial e a área estão relacionadas à distribuição das zonas no ambiente. A magnitude corresponde às zonas determinadas no zoneamento – zonas 0 a 5. Por exemplo, na Figura 3.8, o ambiente possui zonas com configuração retangular, paralelas à janela; de magnitudes 1, 2 e 3; e áreas de 14, 26 e 20m², respectivamente.

3.4 USO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

Os dados horários de uso da iluminação artificial são determinados pelas simulações no programa Daysim, utilizando o valor de 500 lux como iluminância de projeto. A seguir apresenta-se inicialmente o procedimento de obtenção de dados de uso da iluminação artificial e, em seguida, como é calculado o valor final de uso da iluminação artificial dos ambientes que utilizam as zonas de iluminação e dos ambientes sem discriminação de zonas.

3.4.1 Sensores de controle do uso da iluminação artificial

Segundo o tutorial do Daysim (REINHART, 2010), o ponto da malha de análise escolhido como sensor controla o acionamento da iluminação artificial da área total do ambiente e, quando definido mais de um ponto, o programa computa separadamente o uso da luz artificial segundo cada ponto e, em seguida, calcula um resultado médio de acionamento da luz artificial da área completa do ambiente de acordo com aquele conjunto de pontos. Neste estudo, para avaliar o uso da iluminação artificial, são definidos como sensores todos os pontos da malha no plano de trabalho dentro de cada zona.

É importante destacar que não se seleciona um único ponto de controle, representando, por exemplo, um fotossensor real, porque não é objetivo deste trabalho especificar conjuntos de luminárias, lâmpadas e sensores para ambientes de escritório, mas sim quantificar a contribuição da determinação de zonas na redução de horas de uso da iluminação artificial.

3.4.2 Simulação do uso do sistema de iluminação artificial

As simulações da iluminação artificial, utilizando diferentes controles: manual (liga/desliga) e automáticos (liga/desliga e dimerizável), são realizadas para todos os ambientes, com o plano luminoso dividido em zonas através da aplicação do método de zoneamento da iluminação natural. Para esta simulação, a iluminação artificial é dividida em zonas de controle baseando-se nas zonas de iluminação natural. Além disso, como referências comparativas para análise da influência do zoneamento da luz natural no uso da luz artificial, são calculados os dados do sistema artificial dos mesmos modelos, mas sem aplicação do processo de zoneamento da luz natural – ou seja, com uma única zona de controle.

Como resultado, o programa gera um arquivo CSV (*comma separated value*) com os períodos de ocupação e de acionamento do sistema de iluminação artificial, este último assumindo um valor entre 0 (totalmente desligado) e 1 (totalmente acionado). Esses resultados se apresentam em séries horárias anuais que são utilizados no cálculo do uso final da iluminação artificial – apresentado no próximo tópico.

É importante destacar que o programa Daysim calcula os dados de iluminação artificial considerando a área completa do ambiente. Isso quer dizer que, para os ambientes sem discriminação de zonas, um único arquivo CSV representa como se dá o acionamento de todo o sistema de iluminação artificial do ambiente para as horas ocupadas de um ano completo. No entanto, os ambientes que empregam a divisão de zonas de iluminação, devem ter como resultado mais de uma planilha. O número de arquivos CSV resultantes da simulação está relacionado à quantidade de zonas determinadas para o plano de análise, consequentemente, do número de conjunto de sensores definidos para o ambiente. Na figura 3.9, há um esquema que representa a ligação entre os pontos, zonas e arquivos CSV.

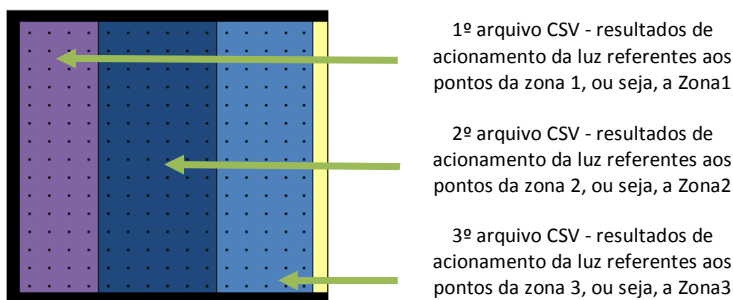


Figura 3.9 – Esquema de simulação do uso da iluminação artificial quando o ambiente está dividido em zonas.

3.4.3 Cálculo do uso do sistema de iluminação artificial

As horas de uso final do sistema de iluminação artificial são calculadas a partir da totalização das frações relativas ao acionamento da luz artificial ($L_{\text{ARTIFICIAL}}$) para cada hora ocupada (1h) do ambiente no percurso de todo o ano. Os resultados obtidos a partir dessa somatória das frações de luz podem ser entendidos como o total de horas que o sistema permaneceu ativado, no decurso de um ano, aproveitando 100% da sua potência instalada. Esses resultados possibilitam comparar as horas de uso da iluminação dos ambientes – com e sem zonas de iluminação.

As horas finais de uso da luz artificial dos ambientes sem discriminação de zonas de iluminação natural são obtidas de forma simplificada, através da somatória das frações de acionamento resultantes da simulação computacional. No entanto, para os ambientes com seus planos luminosos divididos em zonas, a obtenção das horas finais deve ser feita a partir de duas etapas. A simulação do sistema artificial, nesses modelos, pode resultar em mais de um arquivo CSV que prediz o acionamento da luz artificial, dependendo do número de zonas. Desse modo, primeiramente, os resultados das somatórias das frações de acionamento da luz artificial de cada zona são ponderados de acordo com a proporção de área da zona e, em seguida, somados para obtenção das horas finais de uso da luz artificial. A relação que pode descrever essa ponderação é (Eq. 3.1):

$$Uso\ final\ (h) = \sum \left[\frac{\text{Área}_{(zona\ x)} \times \sum L_{artificial}(zona\ x)}{\text{Área total}_{(ambiente)}} \right]$$

Eq. [3.1]

Sendo que,

$L_{artificial}$ = fração horária de acionamento da iluminação artificial

Depois de obtidas as horas finais de uso da luz artificial para os modelos zoneados e não zoneados, calcula-se a porcentagem de redução de horas de uso da iluminação artificial originada a partir da determinação das zonas da iluminação natural e divisão do sistema artificial de acordo com o zoneamento preestabelecido. O cálculo da redução (R) do tempo de uso do sistema artificial de iluminação, dada em %, pode ser descrito pelo modelo abaixo (Eq. 3.2):

$$R = \left(\frac{Uso\ final(h)_{zoneado} - Uso\ final(h)_{nãozoneado}}{Uso\ final(h)_{zoneado}} \right) \times 100$$

Eq. [3.2]

3.5 RESUMO DAS SIMULAÇÕES

Na tabela 11 estão sintetizadas as características construtivas dos modelos simulados com suas respectivas variações. Essa corresponde à primeira parte das simulações cujo objetivo é avaliar o comportamento da luz natural interno e, a partir disso, determinar as zonas de iluminação natural segundo os procedimentos que estão explanados anteriormente.

Tabela 11 – Resumo das características construtivas dos casos arquitetônicos simulados.

Geometria	Pé-direito (m)	Orientação	PAF (%)	Posição da janela	FS	Refletâncias (%)
Modelo 1		Norte	20	Única		
Modelo 2	2,70	Leste	40	Oposta	0,626	70, 50, 20
Modelo 3	3,50	Sul Oeste	70	Adjacente		

Combinando os modelos com as variáveis, são construídos e simulados 216 casos arquitetônicos. É importante notar que o termo modelo é usado para referenciar os três tipos de geometria (figura 3.1) utilizados para gerar todos os casos arquitetônicos para simulação computacional. Depois de determinadas as zonas, são analisados, tanto para os casos zoneados quanto os não zoneados, os sistemas de iluminação artificial utilizando três sistemas de controle: um manual (liga/desliga) e dois automáticos (liga/desliga e dimerizável). Este corresponde a segunda etapa do trabalho que é comparar o uso do sistema de iluminação artificial entre os casos zoneados e não zoneados, bem como avaliar a adequabilidade dos sistemas de controle com relação ao comportamento da luz natural. Nesta etapa, são realizadas 1296 análises no programa Daysim (Figura 3.10).

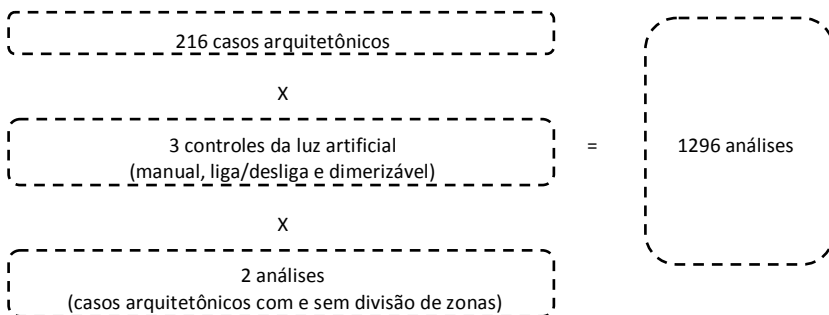


Figura 3.10 – Total de análises para o sistema de iluminação artificial.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

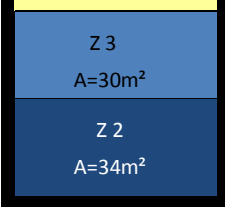
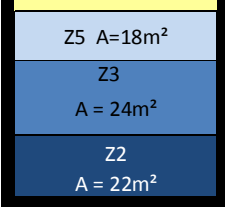
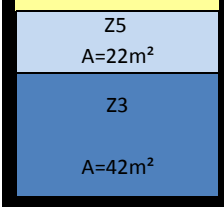
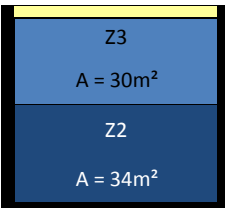
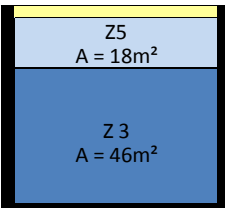
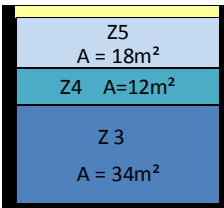
Este capítulo apresenta os resultados e as análises obtidos durante a pesquisa a partir da aplicação do método proposto no capítulo anterior. Inicialmente é apresentada a análise do zoneamento da iluminação natural dos casos arquitetônicos em estudo. Em seguida são discutidos os resultados de uso da iluminação artificial utilizando diferentes sistemas de controle. Para finalizar, é apresentada a relação entre as frequências de ocorrências das iluminâncias produzidas pela luz natural e o uso da iluminação artificial utilizando os sistemas automáticos de controle ligados a luz natural.

4.1 ZONEAMENTO DA ILUMINAÇÃO NATURAL

Os resultados de zoneamento da iluminação natural estão separados em três grupos principais para serem discutidos: Modelo 1 (M1); Modelo 2 (M2); Modelo 3 (M3). Em cada grupo, são tratados os zoneamentos dos 72 casos arquitetônicos derivados das combinações de diversas características construtivas: pé direito - PD (2,70 e 3,50m); orientação (Norte, Sul, Leste e Oeste); posicionamento das aberturas (unilateral, oposta, adjacente); Percentual de Área de Abertura na Fachada - PAF (20, 40 e 70%).

Os zoneamentos da luz natural dos casos de cada grupo (M1, M2 e M3) são analisados quanto à configuração espacial, magnitude e área (A) das zonas. Para entender como os resultados de zoneamento foram organizados para análise, observe o esquema da figura 4.1, que utiliza como exemplo os casos arquitetônicos M1, voltados ao Norte, com janela única.

(a) Zoneamentos de iluminação dos casos arquitetônicos, voltados ao Norte, com janela única

Pé direito	Percentual de Área de Abertura na Fachada (PAF)		
	PAF 20	PAF 40	PAF 70
Pé direito (PD) 2,70m	 <p>PD270_PAF20</p>	 <p>PD270_PAF40</p>	 <p>PD270_PAF70</p>
PD 3,50m	 <p>PD350_PAF20</p>	 <p>PD350_PAF40</p>	 <p>PD350_PAF70</p>

Organizando apresentação dos resultados de zoneamento desses casos de acordo com configuração, magnitude e área das zonas.

Forma de Apresentação dos Resultados das zonas de iluminação dos casos arquitetônicos, voltados ao Norte, com janela única

(b) Configuração Espacial padrão



Configuração 1:
Casos com 2 zonas:
PD350_PAF20;
Casos com 3 zonas:
PD270_PAF40;

(c) Tabela com Magnitudes e áreas (A) das zonas

Características Arquitetônicas		Área (m²) das zonas de iluminação						
PD (m)	PAF	Z0	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	
PD2,70	20			34	30			
	40			22	24		18	
	70				42		22	
PD3,50	20			30	34			
	40				46		18	
	70				34	12	18	

Figura 4.1 - Esquema da forma de apresentação dos resultados das zonas de iluminação.

A partir da figura 4.1a, observa-se que os zoneamentos dos casos arquitetônicos M1, voltados ao Norte, com janela única, apresentam similaridade quanto às configurações espaciais, cujas zonas se arranjam paralelas à janela. No entanto, a quantidade, a magnitude e a área das zonas são variadas. Com relação à quantidade de zonas, existem casos com duas zonas: PD270_PAF20; PD270_PAF70; PD350_PAF20; PD350_PAF40; e casos com três zonas: PD270_PAF40; PD350_PAF70. Quanto à magnitude, ocorrem as Z2, Z3, Z4 e Z5. As zonas de maior magnitude Z4 e Z5 (referentes às altas iluminâncias) acontecem nos casos com PAFs 40 e 70 – áreas maiores de abertura. Por fim, com relação às áreas das zonas, elas variam de 12 à 46m².

As características das zonas dos casos mostrados na figura 4.1a podem ser apresentadas de forma sintética, conforme visto na figura 4.1 (b, c) e descrito a seguir.

1) Configuração Espacial e número de zonas (Figura 4.1b): a apresentação de apenas um modelo de configuração permite representar a configuração padrão das zonas – arranjadas paralelas à janela; a zona mais clara localiza-se próxima à janela e, a mais escura, no fundo da sala.

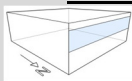
2) Magnitudes e áreas (Figura 4.1c): os dados de magnitude e área, que são diversos, estão apresentados em formato de tabela. Os campos preenchidos indicam as magnitudes das zonas existentes em cada caso, já os valores inseridos nesses campos correspondem às áreas das zonas (m²).

4.1.1 Casos arquitetônicos do Modelo 1

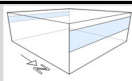
Os casos arquitetônicos do Modelo 1 representam um quadrado de 8,00m de lado e pé-direito variável de 2,70 e 3,50m.

Os quadros 2 a 5 representam as configurações espaciais dos casos M1 orientados ao Norte, Sul, Leste e Oeste, respectivamente. Nas tabelas 12 a 15, estão colocadas as magnitudes e as áreas das zonas dos casos.

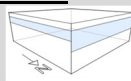
Casos arquitetônicos do M1 orientados ao Norte



Iluminação Unilateral


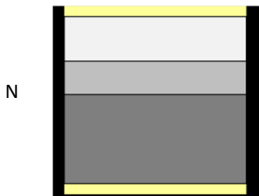
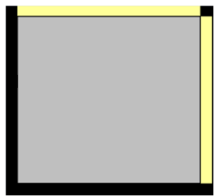
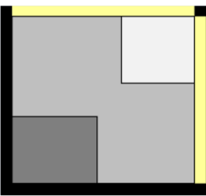




Iluminação Oposta



Iluminação Adjacente

Configurações Espaciais das zonas de iluminação dos Casos do M1 orientados ao Norte

Janela Única	 <p>Configuração 1:</p> <p>Casos com 2 zonas: PD270_PAF20,70; PD350_PAF20,40</p> <p>Casos com 3 zonas: PD270_PAF40; PD350_PAF70</p>
Janela Oposta	 <p>Configuração 1:</p> <p>Casos com 1 zona: PD270_PAF20; PD350_PAF20</p> <p>Casos com 2 zonas: PD270_PAF40; PD350_PAF40</p> <p>Casos com 3 zonas: PD270_PAF70; PD350_PAF70</p>
Janela Adjacente	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="176 879 389 1075">  <p>Configuração 1: Casos: PD350_PAF20</p> </div> <div data-bbox="445 879 650 1075">  <p>Configuração 2: Casos: PD270_PAF40</p> </div> <div data-bbox="706 879 916 1075">  <p>Configuração 3: Casos: PD270_PAF40,70; PD350_PAF40,70</p> </div> </div>
<p>Legenda*: Menos iluminado  Mais iluminado</p> <p>* apenas ilustrativa, servindo para indicar a localização das zonas mais iluminadas e menos iluminadas, dentre as resultantes do zoneamento da iluminação.</p>	

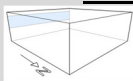
Quadro 2 – Configurações espaciais das zonas de iluminação natural dos casos arquitetônicos do M1 com pé direito de 2,70m e 3,50m, orientados ao Norte.

Tabela 12 – Magnitudes e Áreas das zonas de iluminação natural dos casos arquitetônicos do M1, orientados ao Norte.

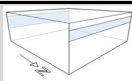
Características Arquitetônicas			Área (m²) das zonas de iluminação natural					
Posicionamento das janelas	Pé Direito PD (m)	PAF (%)	Z0	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
Janela única	PD2,70	20			34	30		
		40			22	24		18
		70				42		22
	PD3,50	20			30	34		
		40				46		18
		70				34	12	18
Janelas Opostas	PD2,70	20				64		
		40				46		18
		70				34	12	18
	PD3,50	20				64		
		40				46		18
		70				18	20	26
Janelas Adjacentes	PD2,70	20			12	41	11	
		40				37	9	18
		70				29	13	22
	PD3,50	20				64		
		40				34	12	18
		70				22	12	30

*Os campos preenchidos indicam as magnitudes das zonas existentes no caso, já os valores inseridos nos campos correspondem às áreas das zonas.

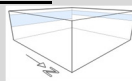
Casos arquitetônicos do M1 orientados ao Sul



Iluminação Unilateral



Iluminação Oposta



Iluminação Adjacente

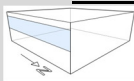
Configurações Espaciais das zonas de iluminação dos Casos do M1 orientados ao Sul			
Janela Única		<p>Configuração 1:</p> <p>Casos com 2 zonas: PD350_PAF40,70 Casos com 3 zonas: PD270_PAF20,40,70; PD350_PAF20</p>	
Janela Oposta		<p>Configuração 1:</p> <p>Casos com 1 zona: PD270_PAF20;PD350_PAF20,40 Casos com 2 zonas: PD270_PAF40,70;PD350_PAF70</p>	
Janela Adjacente			
	<p>Configuração 1: Casos: PD270_PAF20; PD350_PAF20</p>	<p>Configuração 2: Casos com 1 zona: PD350_PAF40 Casos com 2 zonas: PD270_PAF40 Casos com 3 zonas: PD350_PAF70</p>	<p>Configuração 3: Casos: PD270_PAF70</p>
<p>Legenda: Menos iluminado Mais iluminado</p>			

Quadro 3 - Configurações espaciais das zonas de iluminação natural dos casos do M1 com pé direito de 2,70 e 3,50m, orientados ao Sul.

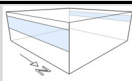
Tabela 13 - Magnitudes e Áreas das zonas de iluminação natural dos casos arquitetônicos do M1, orientados ao Sul.

Características Arquitetônicas			Área					
Posicionamento das janelas	Pé Direito PD (m)	PAF (%)	Z0	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
Janela única	PD2,70	20		22	20	22		
		40			30	20	14	
		70			18	32	14	
	PD3,50	20		14	32	18		
		40			26	38		
		70				42	22	
Janelas Opostas	PD2,70	20				64		
		40				46	18	
		70				46	18	
	PD3,50	20			64			
		40				64		
		70				30	34	
Janelas Adjacentes	PD2,70	20			18	46		
		40				42	22	
		70				37	13	14
	PD3,50	20			14	50		
		40				64		
		70				34	16	14

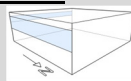
Casos arquitetônicos do M1 orientados ao Leste



Iluminação Unilateral



Iluminação Oposta



Iluminação Adjacente

Configurações Espaciais das zonas de iluminação dos Casos do M1 orientados ao Leste

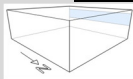
Janela Única	<p>Configuração 1: Casos c/ 2 zonas: PD350_PAF20,40,70 Casos c/ 3 zonas: PD270_PAF20; 40; 70</p>
Janela Oposta	<div> <p>Configuração 1: Casos c/ 1 zona: PD270_PAF20; PD350_PAF20,40 Casos c/ 2 zonas: PD270_PAF40 Casos c/ 3 zonas: PD270_PAF70</p> </div> <div> <p>Configuração 2: Casos: PD350-PAF70</p> </div>
Janela Adjacente	<div> <p>Configuração 1: Casos: PD270_PAF20; PD350_PAF20</p> </div> <div> <p>Configuração 2: Casos: PD350_PAF40</p> </div> <div> <p>Configuração 1 : Casos: PD350_PAF70</p> </div> <div> <p>Configuração 2: Casos: PD270_PAF40,70</p> </div>
<p>Legenda: Menos iluminado Mais iluminado</p>	

Quadro 4 - Configurações espaciais das zonas de iluminação natural dos casos do M1 com pé direito de 2,70 e 3,50m, orientados ao Leste.

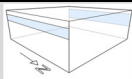
Tabela 14 – Magnitudes e Áreas das zonas de iluminação natural dos casos arquitetônicos do M1, orientados ao Leste.

Características Arquitetônicas			Área (m²) das zonas de iluminação natural					
Posicionamento das janelas	Pé Direito PD (m)	PAF (%)	Z0	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
Janela única	PD2,70	20		18	24	22		
		40			22	28		14
		70			14	32		18
	PD3,50	20			42	22		
		40			22	42		
		70				46		18
Janelas Opostas	PD2,70	20				64		
		40				46	18	
		70				34	16	14
	PD3,50	20				46		18
		40				64		
		70				64		
Janelas Adjacentes	PD2,70	20			18	46		
		40				42	8	14
		70				33	13	18
	PD3,50	20			16	48		
		40				51	13	
		70				38		26

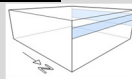
Casos arquitetônicos do M1 orientados a Oeste



Iluminação Unilateral


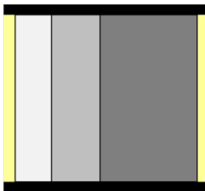
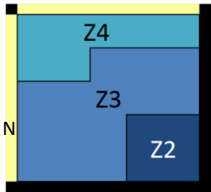
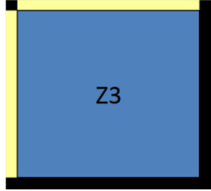
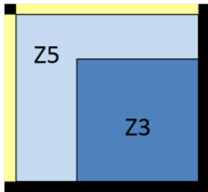
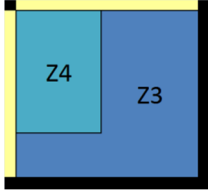
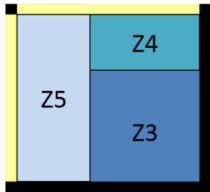
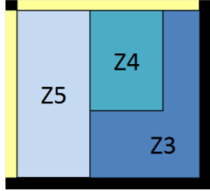



Iluminação Oposta



Iluminação Adjacente

Configurações Espaciais das zonas de iluminação dos Casos do M1 orientados a Oeste

Janela Única	<div></div> <p>Configuração 1: Casos c/ 2 zonas: PD270_PAF70; PD350_PAF20,40,70 Casos c/ 3 zonas:PD270_PAF20,40</p>	Janela Oposta	<div></div> <p>Configuração 1: Casos c/ 1 zona: PD270_PAF20; PD350_PAF20,40 Casos c/ 2 zonas:PD270_PAF40 Casos c/ 3 zonas: PD270_PAF70; PD350_PAF70</p>
Janela Adjacente	<div><div></div><p>Caso: PD270_PAF20</p></div> <div><div></div><p>Caso: PD350_PAF20</p></div>	<div><div></div><p>Caso: PD270_PAF40</p></div> <div><div></div><p>Caso: PD350_PAF40</p></div>	<div><div></div><p>Caso: PD270_PAF70</p></div> <div><div></div><p>Caso: PD350_PAF70</p></div>
<div>Legenda: Menos iluminado<div></div>Mais iluminado</div>			

Quadro 5 - Configurações espaciais das zonas de iluminação natural dos casos do M1 com pé direito de 2,70 e 3,50m, orientados a Oeste.

Tabela 15 – Magnitudes e Áreas das zonas de iluminação natural dos casos arquitetônicos do M1, orientados a Oeste.

Características Arquitetônicas			Área (m²) das zonas de iluminação natural					
Posicionamento das janelas	Pé Direito PD (m)	PAF (%)	Z0	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
Janela única	PD2,70	20		18	20	26		
		40			22	28		14
		70				46		18
	PD3,50	20			38	26		
		40			18	46		
		70				42		22
Janelas Opostas	PD2,70	20				64		
		40				46	18	
		70				34	16	14
	PD3,50	20				64		
		40				64		
		70				14	32	18
Janelas Adjacentes	PD2,70	20			11	35	18	
		40				30		34
		70				25	13	26
	PD3,50	20				64		
		40				42	22	
		70				24	14	26

→ Configurações espaciais das zonas de iluminação.

Nos modelos com iluminação unilateral, as zonas se apresentam paralelas à fachada com abertura principal possuindo profundidades variáveis.

Os modelos com iluminação oposta apresentam uma única zona ou zonas paralelas às paredes que contém janelas, dependendo do percentual de área de abertura na fachada principal. A configuração de uma única zona ocorre exclusivamente nos modelos com janelas opostas, orientados ao Norte e ao Sul.

Quando a iluminação natural é admitida através de aberturas adjacentes, a configuração das zonas de iluminação é, em muitos casos, irregular, afastando-se do padrão de zonas paralelas à parede da fachada principal. Os casos com janela adjacente, orientados a Oeste –

ver quadro 5 –, mostram-se como o grupo mais diverso, onde cada sala apresenta uma configuração espacial específica e, por isso, estão apresentados todos os resultados de arranjo desse grupo.

→ Magnitudes das zonas de iluminação – zonas 0 a 5.

Na tabela 16, pode-se observar a frequência que ocorre cada zona de iluminação nos casos arquitetônicos do M1.

Tabela 16 – Frequência que ocorrem as zonas de iluminação (Z0 a Z5) nos casos arquitetônicos do M1 de acordo com a orientação da fachada principal.

Casos arquitetônicos		Frequência que ocorrem as zonas de iluminação (Z0 a Z5) (%)					
Orientação	Nº	Zona 0	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
Norte	18	0	0	22.2	100	44.4	66.7
Sul	18	0	11.1	44.4	94.4	50	11.1
Leste	18	0	5.5	38.9	100	27.8	44.4
Oeste	18	0	5.6	27.8	100	38.9	44.4
Total	72	0	5.6	33.3	98.6	40.3	41.7

Segundo a tabela 16, a aplicação do método de zoneamento da iluminação natural nesses casos determinou as faixas de 1 a 5. Não acontece a zona 0 (iluminâncias < 50 lux). Por ser um ambiente raso (8m), a luz natural admitida garante iluminâncias acima 50 lux na maior parte do tempo.

Observando a tabela 16, pode-se dizer que a magnitude das zonas está condicionada à orientação da fachada principal, pois este parâmetro interfere na quantidade de luz admitida no interior do ambiente. Dentre as orientações estudadas, a fachada Norte é a que apresenta maior ocorrência (66.7%) da zona 5 (iluminâncias > 2500 lux).Todos os casos orientados ao Norte com PAF de 40 e 70 apresentam a zona 5, cujas áreas variam entre 18 a 30m² (Tabela 12). As magnitudes das zonas definidas nos casos orientados ao Leste e a Oeste são similares. A orientação Sul é a que mais apresenta zonas de baixas iluminâncias, por ser a orientação que menos recebe insolação direta, devido a posição geográfica e condições atmosféricas da cidade de Florianópolis. Nessa orientação, as zonas 1 e 2 acontecem, respectivamente, em 11,1% e 44,4% dos casos, já a zona 5 ocorre em apenas 11,1% dos casos. Apenas os casos com janelas adjacentes com PAF70 incluem essa zona na divisão do plano iluminado em faixas, cuja área máxima é de 14m² (Tabela 13).

As magnitudes das zonas também estão relacionadas ao percentual de área de abertura na fachada (PAF). O tamanho da abertura influencia a quantidade de luz natural disponível, o que pode alterar as zonas determinadas para o ambiente. Conforme tabela 17, quanto maior o tamanho da abertura, menor a ocorrência de zonas com iluminâncias baixas (Z0, Z1 e Z2) e maior a ocorrência de zonas elevadas (Z3, Z4 e Z5). Como exemplo pode-se observar a diferença das zonas entre os casos com PAF20 e PAF70. Consta-se, nos casos com PAF reduzido (PAF20), a ocorrência de zonas mais escuras (Z1, Z2 e Z3) principalmente; por outro lado, a maioria dos casos com PAF70 possui a magnitude 5 na sua divisão de zonas – 79,2% dos casos com PAF70 apresentam a Z 5.

Tabela 17 – Frequência que ocorrem as zonas de iluminação (Z0 a Z5) nos casos arquitetônicos do M1 de acordo com o PAF da abertura.

Casos arquitetônicos		Frequência que ocorrem as zonas de iluminação (Z0 a Z5) (%)					
PAF	Nº	Zona 0	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
20	24	0	16.7	62.5	95.8	8.33	0
40	24	0	0	29.2	100	41.7	41.7
70	24	0	0	8.33	100	70.8	79.2
Total	72	0	5.6	33.3	98.6	40.3	41.7

As zonas de maior magnitude localizam-se principalmente às margens da fachada onde está localizada a janela principal, pois as iluminâncias mais altas, proporcionadas pela luz natural, ocorrem nas regiões próximas à janela. Por outro lado, as zonas de menor magnitude encontram-se nas regiões mais afastadas das janelas.

→ Área das zonas de iluminação.

O aumento do percentual de abertura na fachada, caso não acarrete mudança das magnitudes das zonas determinadas para o ambiente, altera as áreas das zonas de iluminação. O aumento do PAF provoca um aumento das áreas das zonas mais iluminadas e uma diminuição da zona mais escura.

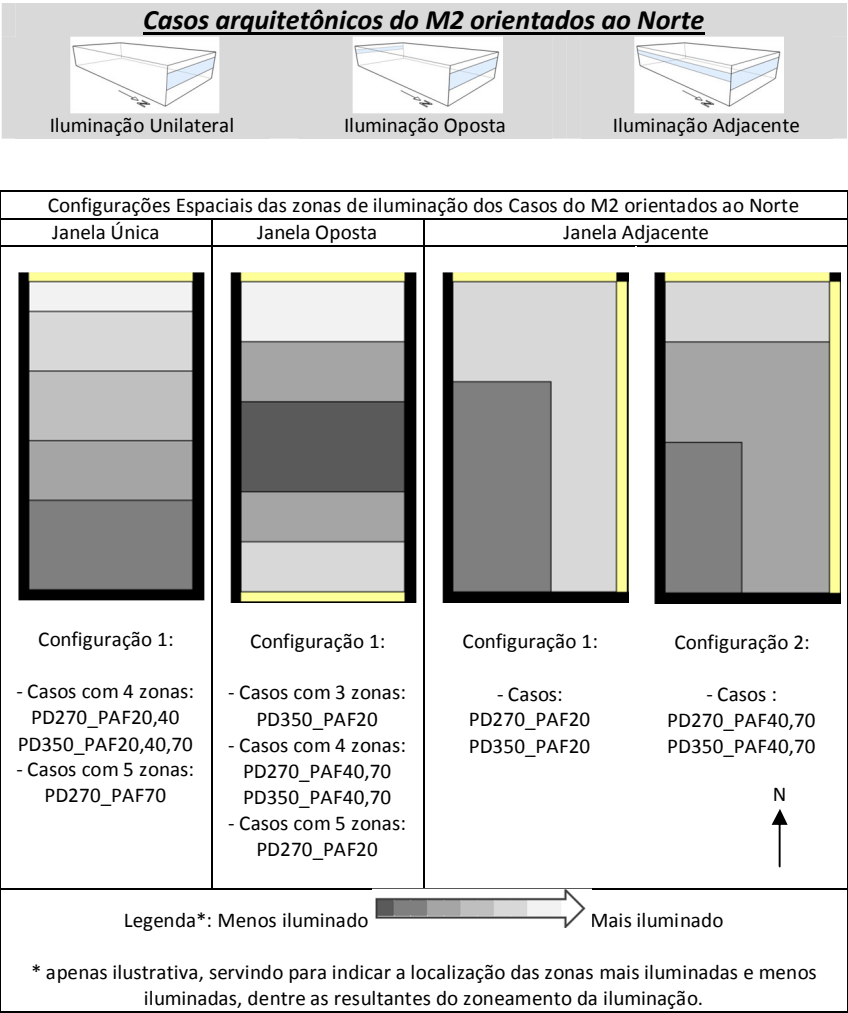
As dimensões das zonas também são influenciadas pela mudança de pé-direito. As salas com pé direito de 3,50m possuem área de janela igual aos modelos de 2,70m, no entanto suas aberturas estão

fixadas em um ponto mais elevado. Constata-se que quanto mais alta a janela, melhor é a distribuição da iluminação natural no interior do ambiente, alcançando as áreas mais afastadas da janela. Isso acarreta na diminuição das dimensões ou supressão da área da zona mais escura comparando com o ambiente de altura inferior. Em outras palavras, as zonas mais iluminadas atingem maiores profundidades e as zonas mais escuras possuem suas áreas reduzidas. Essas alterações de dimensões quanto a mudança de pé direito ocorrem em todos os casos do M1 (Tabelas 12 a 15).

4.1.2 Casos arquitetônicos do Modelo 2

As salas do Modelo 2 (M2) possuem fachada frontal medindo 8m de largura e profundidade de 16m, com pé-direito variável de 2,70 e 3,50m.

Os quadros 6 a 9 representam as configurações espaciais dos casos M2 orientados ao Norte, Sul, Leste e Oeste, respectivamente. Nas tabelas 18 a 21 estão colocadas as magnitudes e as áreas das zonas dos casos M2.



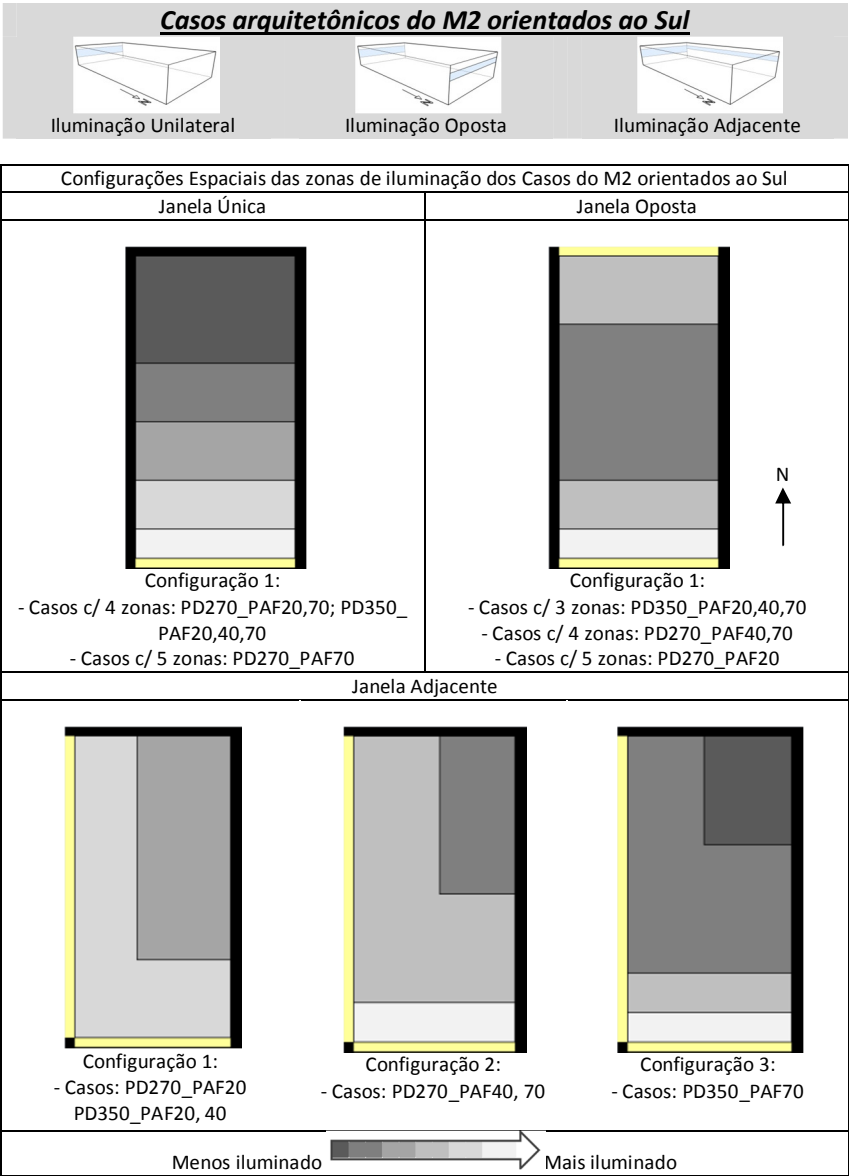
Quadro 6 - Configuração das zonas de iluminação natural dos casos do M2 com pé direito de 2,70 e 3,50, orientados ao Norte.

Tabela 18 – Magnitudes e Áreas das zonas de iluminação natural dos casos arquitetônicos do M2, orientados ao Norte.

Características Arquitetônicas			Área (m²) das zonas de iluminação natural					
Posição das janelas	PD (m)	PAF (%)	Z0	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
Janela única	PD2,70	20	58	24	20	26		
		40	38	24	28	24		14
		70		50	28	32		18
	PD3,50	20	54	20	24	30		
		40		50	32	28		18
		70		30	40	36		22
Janelas Opostas	PD2,70	20		36	24+20**	26+22		
		40			64	28+22		14
		70			56	28+22		22
	PD3,50	20			80	30+18		
		40			56	32+22		18
		70			36	44+26		22
Janelas Adjacentes	PD2,70	20			77	51		
		40			41	69		18
		70			29	73		26
	PD3,50	20			37	91		
		40			25	81		22
		70				86	16	26

*Os campos preenchidos indicam as magnitudes das zonas existentes no caso, já os valores inseridos nos campos correspondem às áreas das zonas.

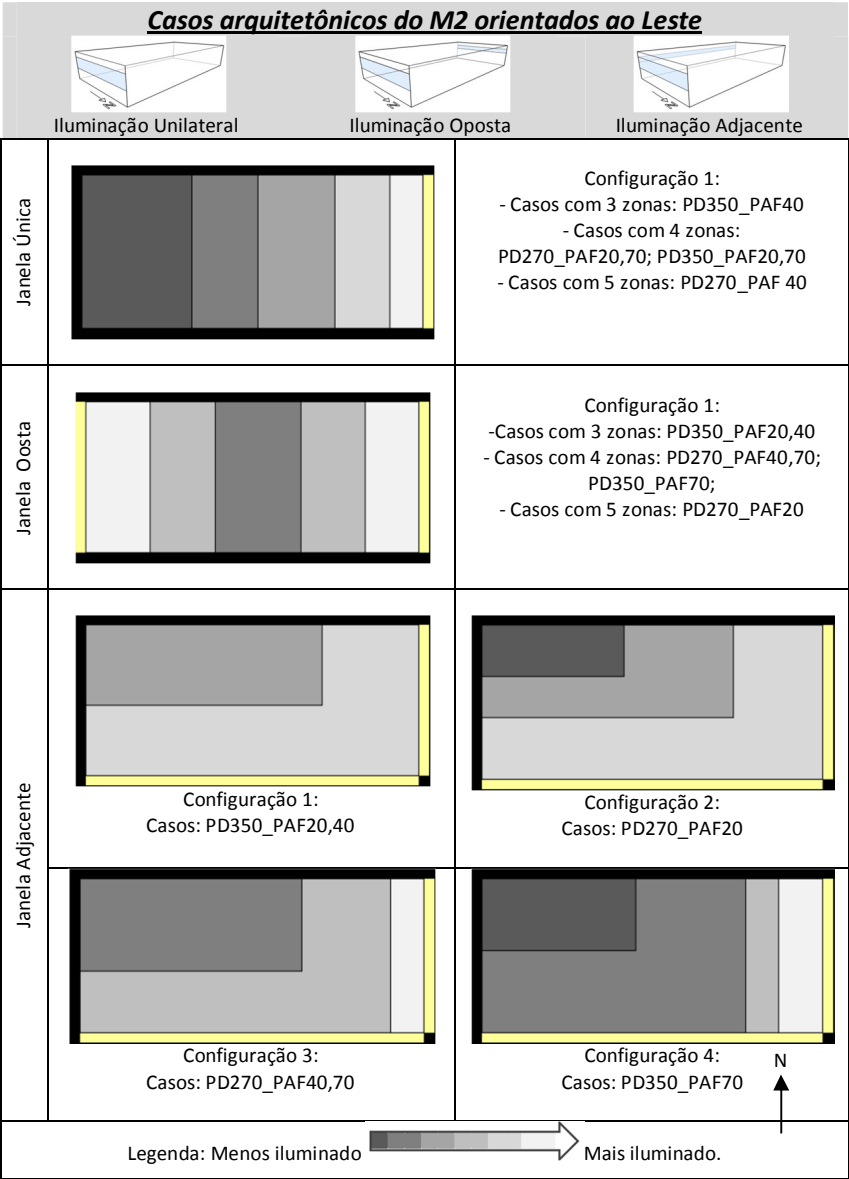
** Duas regiões distintas do ambiente foram classificadas como ZONA 2.A área de cada uma corresponde, respectivamente, a 24m² e 20m² (Z2A=24m² e Z2B=20m²).



Quadro 7 - Configuração das zonas de iluminação natural dos casos do M2 com pé direito de 2,70 e 3,50, orientados a Sul.

Tabela 19 – Magnitudes e Áreas das zonas de iluminação natural dos casos arquitetônicos do M2, orientados ao Sul.

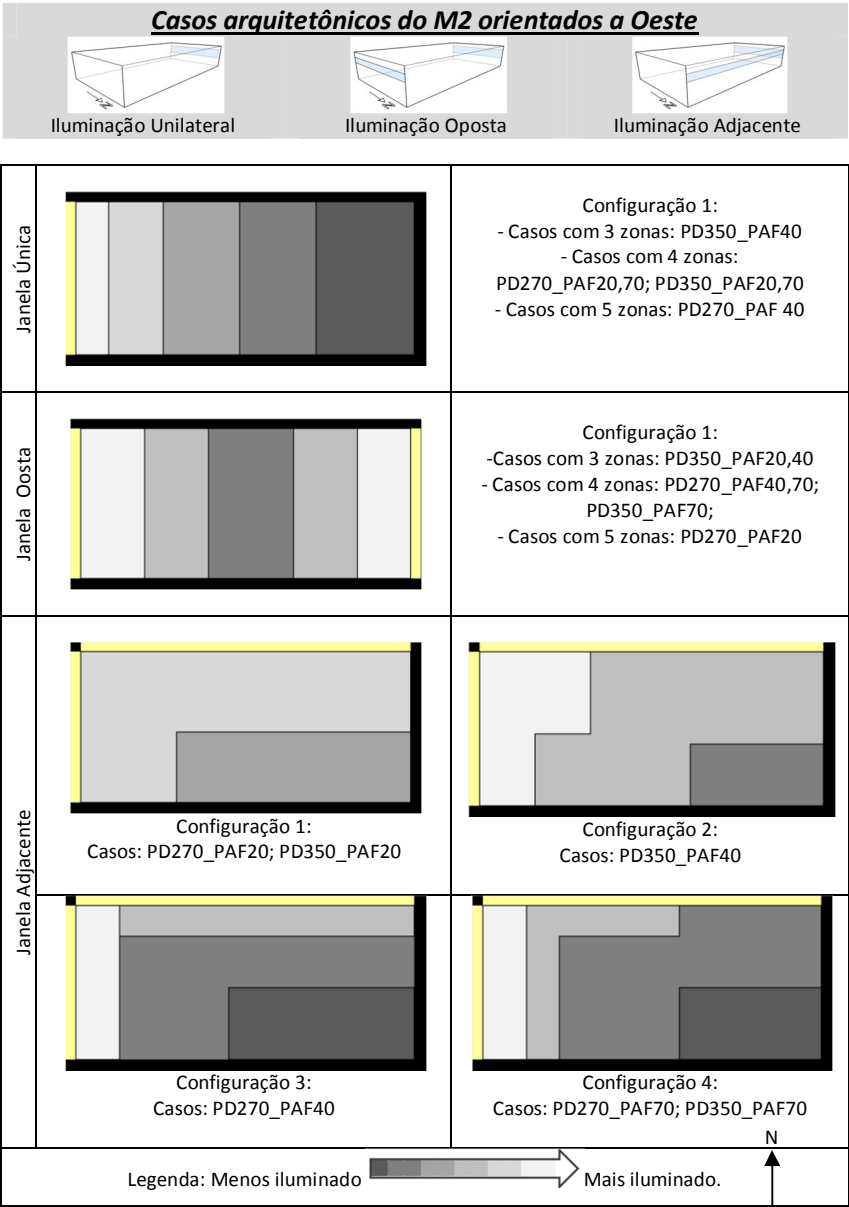
Características Arquitetônicas			Área (m²) das zonas de iluminação natural					
Posição das janelas	PD (m)	PAF (%)	Z0	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
Janela única	PD2,70	20	70	20	20	18		
		40	46	24	24	20	14	
		70		58	28	24	18	
	PD3,50	20	62	24	24	18		
		40	26	36	28	38		
		70		42	36	32	18	
Janelas Opostas	PD2,70	20		36	20+24	30+18		
		40			64	30+20	14	
		70			56	30+24	18	
	PD3,50	20			90	30+18		
		40			56	34+38		
		70			36	38+36		
Janelas Adjacentes	PD2,70	20			56	72		
		40			39	75		14
		70			31	79		18
	PD3,50	20			44	84		
		40			31	97		
		70			24	74	16	14



Quadro 8 - Configuração das zonas de iluminação natural dos casos do M2 com pé direito de 2,70 e 3,50, orientados ao Leste.

Tabela 20 – Magnitudes e Áreas das zonas de iluminação natural dos casos arquitetônicos do M2 com pé direito de 2,70 e 3,50, orientados ao Leste.

Características Arquitetônicas			Área (m²) das zonas de iluminação natural					
Posição das janelas	PD (m)	PAF (%)	Z0	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
Janela única	PD2,70	20	66	20	20	22		
		40	42	24	28	20		14
		70		54	28	28		18
	PD3,50	20	62	20	24	22		
		40		58	32	38		
		70		38	36	36		18
Janelas Opostas	PD2,70	20		32	24+24	26+22		
		40			72	22+20		14
		70			56	26+28		18
	PD3,50	20			80	26+22		
		40			56	30+42		
		70			24	38+44		22
Janelas Adjacentes	PD2,70	20		19	38	71		
		40			49	65		14
		70			29	69		30
	PD3,50	20			48	80		
		40			39	89		
		70			27	67	16	18



Quadro 9 - Configuração das zonas de iluminação natural dos casos do M2 com pé direito de 2,70 e 3,50, orientados a Oeste.

Tabela 21 – Magnitudes e Áreas das zonas de iluminação natural dos casos arquitetônicos do M2, orientados a Oeste.

Características Arquitetônicas			Área (m²) das zonas de iluminação natural					
Posição das janelas	PD (m)	PAF (%)	Z0	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
Janela única	PD2,70	20	62	24	20	22		
		40	38	28	28	20		14
		70		50	32	28		18
	PD3,50	20	58	20	24	26		
		40		54	32	42		
		70		34	40	36		18
Janelas Opostas	PD2,70	20		32	24+24	26+22		
		40			68	24+22		14
		70			56	28+26		18
	PD3,50	20			80	26+22		
		40			60	42+26		
		70			24	44+38		22
Janelas Adjacentes	PD2,70	20			42	86		
		40			33	54	23	18
		70			25	63	22	18
	PD3,50	20			28	100		
		40			20	75	33	
		70			12	70	24	22

→ Configurações espaciais das zonas de iluminação.

Como encontrado nos modelos do grupo anterior, as zonas dos modelos com iluminação unilateral e oposta configuram-se paralelas às fachadas com abertura principal. No entanto, a quantidade de zonas nesses modelos é maior devido a maior profundidade dos modelos.

Nos modelos com iluminação adjacente do M2, as configurações espaciais dos zoneamentos apresentam características simétricas entre as orientações, diferentemente dos casos do modelo anterior (M1) cujas configurações se mostram bastante irregulares. Nos casos do Modelo 2, ocorrem principalmente configurações com formato em L.

→ Magnitudes das zonas de iluminação – zonas 0 a 5.

A tabela 22 resume, em porcentagens, as magnitudes das zonas que ocorrem nos casos arquitetônicos do Modelo 2, de acordo com a orientação da fachada principal.

Tabela 22 – Frequência que ocorrem as zonas de iluminação (Z0 a Z5) nos casos arquitetônicos do M2 de acordo com a orientação da fachada principal.

Casos arquitetônicos		Frequência que ocorrem as zonas de iluminação (Z0 a Z5) (%)					
Orientação	Nº	Zona 0	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
Norte	18	17	39	95	100	6	67
Sul	18	22	39	100	100	33	17
Leste	18	16.7	44.4	100	100	5.6	50
Oeste	18	16.7	38.9	100	100	22.2	50
Total	72	18.1	40.3	98.8	100	16.7	46

A profundidade interfere na quantidade de zonas de um ambiente. Nos casos com janela única, essa interferência vai além da quantidade de zonas, pois afeta também nas magnitudes das zonas existentes nesses casos. Quanto maior a profundidade do ambiente, maior a chance de ocorrência de zonas mais escuras, visto que a luz natural não atinge a região dos fundos da sala. Isso pode ser observado na tabela 22; nos modelos 2, a zona 0 ocorre em todas as orientações.

Como mostrado para o M1, as magnitudes das zonas também são influenciadas pelo PAF da abertura. Quanto maior o tamanho da abertura, maior a frequência de ocorrência de zonas elevadas e menor a ocorrência de zonas menos iluminadas. As zonas de maior magnitude localizam-se principalmente às margens da fachada onde está fixada a janela principal, pois as iluminâncias mais altas, proporcionadas pela luz natural, ocorrem nas regiões mais próximas à janela. Isso pode ser observado nos quadros 6 a 9, através das tonalidades de cinza dos desenhos.

→ Área das zonas de iluminação.

As dimensões das zonas de iluminação são influenciadas principalmente pelo percentual de área de abertura na fachada e pela altura do ambiente. De modo geral, percebe-se que conforme o

tamanho da abertura aumenta maior é a área e a magnitude da zona no interior do ambiente.

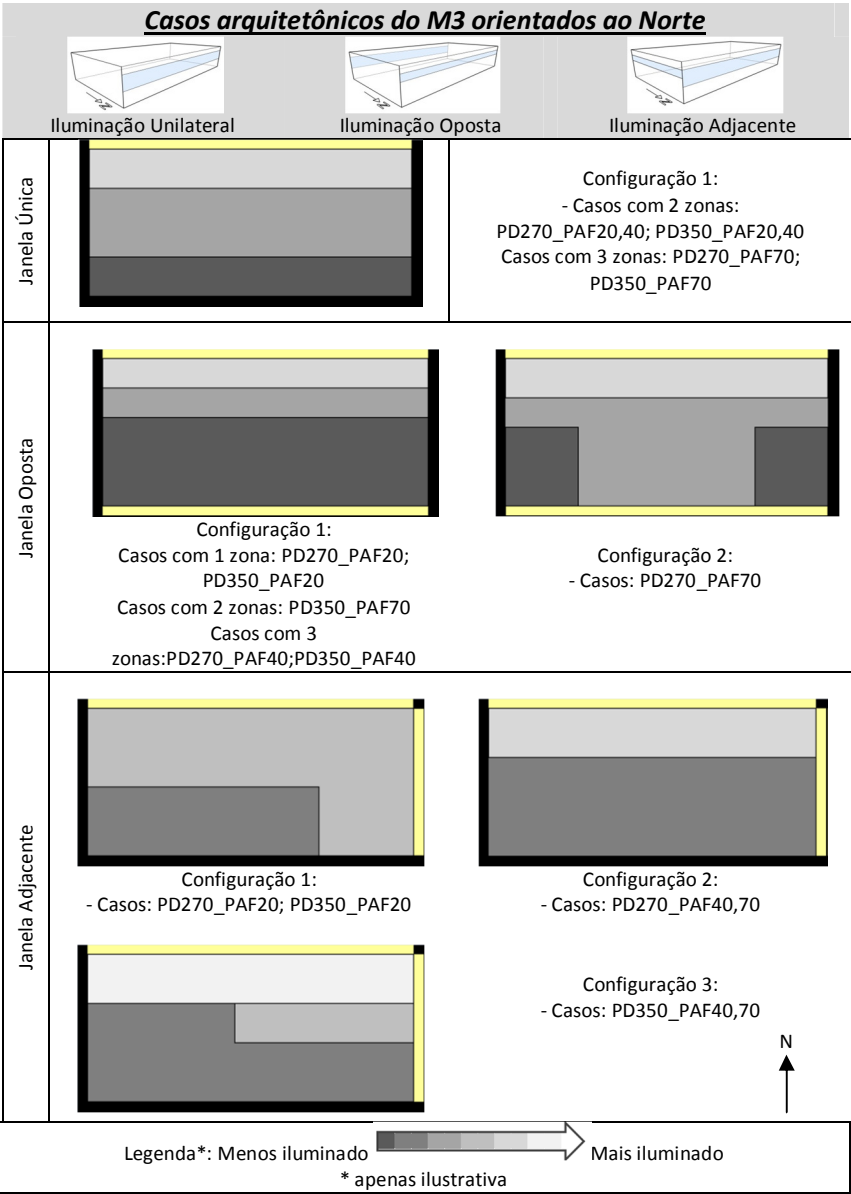
Como já mencionado anteriormente, o aumento do PAF gera o aumento das áreas das zonas mais iluminadas (próximas às janelas) e a diminuição da zona mais escura (afastada da janela) - veja como exemplo o caso orientado a Sul Jan.Única/PD3,50m/PAF20 e PAF40.

As dimensões das zonas relacionam-se à mudança de pé direito. Como nos casos do M1, constata-se que quanto mais alta a janela, melhor é a distribuição da iluminação natural no interior do ambiente, alcançando as áreas mais afastadas da janela. Isso acarreta na diminuição das dimensões ou supressão da área da zona mais escura comparando com o ambiente de altura inferior. Essas alterações de dimensões das zonas, quando elevadas as alturas da sala e da janela, ocorrem em todos os casos do Modelo 2.

4.1.3 Casos arquitetônicos do Modelo 3

As salas do Modelo 3 (M3) possuem fachada frontal medindo 16m de largura e profundidade de 8m, com pé-direito variável de 2,70 e 3,50m.

Os quadros 10 a 13 representam as configurações espaciais dos casos M3 orientados ao Norte, Sul, Leste e Oeste, respectivamente. Nas tabelas 23 a 26 estão colocadas as magnitudes e as áreas das zonas dos casos.

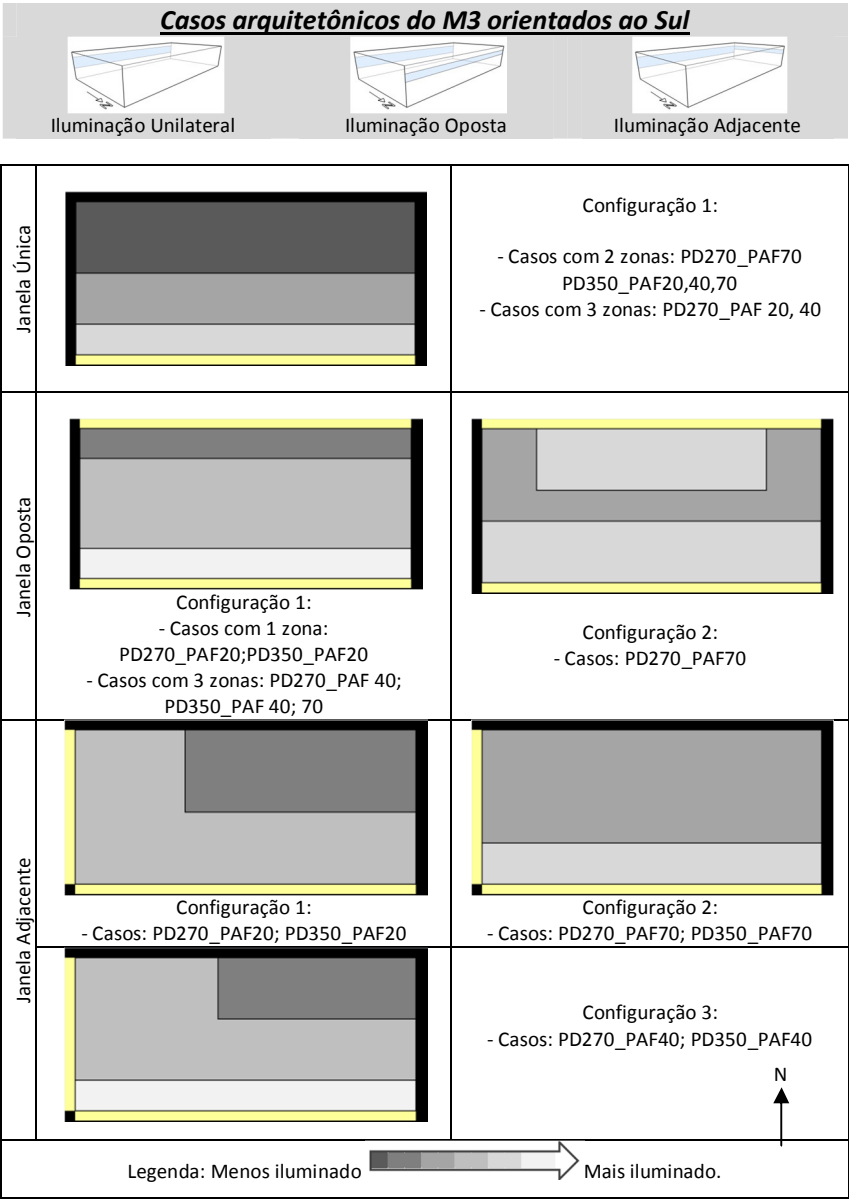


Quadro 10 - Configuração das zonas de iluminação natural dos casos do M3 com pé direito de 2,70 e 3,50, orientados ao Norte.

Tabela 23 – Magnitudes e Áreas das zonas de iluminação natural dos casos arquitetônicos do M3, orientados ao Norte.

Características Arquitetônicas			Área (m²) das zonas de iluminação natural					
Posição das janelas	PD (m)	PAF (%)	Z0	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
Janela única	PD2,70	20			68	60		
		40			36	56		36
		70				68	24	36
	PD3,50	20			68	60		
		40				92		36
		70				52	32	44
Janelas Opostas	PD2,70	20				128		
		40				76	24	28
		70				16+16	60	36
	PD3,50	20				128		
		40				68	24	36
		70					76	52
Janelas Adjacentes	PD2,70	20			42	86		
		40				84		44
		70				84		44
	PD3,50	20			28	100		
		40				74	18	36
		70				62	22	44

*Os campos preenchidos indicam as magnitudes das zonas existentes no caso, já os valores inseridos nos campos correspondem às áreas das zonas.



Quadro 11 - Configuração das zonas de iluminação natural dos casos do M3 com pé direito de 2,70 e 3,50, orientados ao Sul.

Tabela 24 – Magnitudes e Áreas das zonas de iluminação natural dos casos arquitetônicos do M3, orientados a Sul.

Características Arquitetônicas			Área (m²) das zonas de iluminação natural					
Posição das janelas	PD (m)	PAF (%)	Z0	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
Janela única	PD2,70	20		44	40	44		
		40			60	40	28	
		70				92		36
	PD3,50	20			84	44		
		40				128		
		70				84	44	
Janelas Opostas	PD2,70	20				128		
		40				64	28+36	
		70				26	34+68	
	PD3,50	20				128		
		40			56	30+42		
		70				28	56	44
Janelas Adjacentes	PD2,70	20			56	72		
		40			30	70		28
		70			25	75		28
	PD3,50	20			46	82		
		40			35	93		
		70				92	36	



Configurações Espaciais das zonas de iluminação dos Casos do M2 orientados ao Leste			
Janela Única	Janela Oposta	Janela Adjacente	
Configuração 1:	Configuração 1:	Configuração 1:	Configuração 2:
- Casos com 1 zonas: PD350_PAF40	- Casos com 1 zonas: PD270_PAF20	- Casos com 1 zona: PD350_PAF40	-Casos: PD270_PAF40
- Casos com 2 zonas: PD270_PAF70 PD350_PAF20	- Casos com 2 zonas: PD350_PAF20	- Casos com 2 zonas: PD270_PAF20,70 PD350_PAF20	PD350_PAF70
- Casos com 3 zonas: PD270_PAF20,40 PD350_PAF70			
<div>Menos iluminado</div> <div></div> <div>Mais iluminado</div>			


N
↑

Quadro 12 - Configuração das zonas de iluminação natural dos casos do M3 com pé direito de 2,70 e 3,50, orientados ao Leste.

Tabela 25 – Magnitudes e Áreas das zonas de iluminação natural dos casos arquitetônicos do M3, orientados a Leste.

Características Arquitetônicas			Área (m²) das zonas de iluminação natural					
Posição das janelas	PD (m)	PAF (%)	Z0	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
Janela única	PD2,70	20		28	48	52		
		40			44	56		28
		70				92		36
	PD3,50	20			76	52		
		40				128		
		70				84		44
Janelas Opostas	PD2,70	20				128		
		40				100		28
		70					92	36
	PD3,50	20				128		
		40				60	68	
		70					84	44
Janelas Adjacentes	PD2,70	20			58	70		
		40			25	75	28	
		70				82		46
	PD3,50	20			56	72		
		40				128		
		70				59	19	36



Configurações Espaciais das zonas de iluminação dos Casos do M2 orientados a Oeste			
Janela Única	Janela Oposta	Janela Adjacente	
Configuração 1: - Casos c/ 1 zonas: PD350_PAF40 - Casos c/ 2 zonas: PD270_PAF20,70 PD350_PAF20,70 - Casos c/ 3 zonas: PD270_PAF 40	Configuração 1: - Casos c/ 1 zonas: PD270_PAF20 PD350_PAF20 - Casos c/ 2 zonas: PD270_PAF40,70 PD350_PAF40,70	Configuração 1: Casos: PD270_PAF20 PD350_PAF20,40	Configuração 2: Casos: PD270_PAF40,70 PD350_PAF70
<div>Menos iluminado</div> <div></div> <div>Mais iluminado</div>			

N
↑

Quadro 13 - Configuração das zonas de iluminação natural dos casos do M3 com pé direito de 2,70 e 3,50, orientados a Oeste.

Tabela 26 – Magnitudes e Áreas das zonas de iluminação natural dos casos arquitetônicos do M3 com pé direito de 2,70 e 3,50, orientados a Oeste.

Características Arquitetônicas			Área (m²) das zonas de iluminação natural					
Posição das janelas	PD (m)	PAF (%)	Z0	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
Janela única	PD2,70	20			76	52		
		40			44	56		28
		70				92		36
	PD3,50	20			76	52		
		40				128		
		70				76		52
Janelas Opostas	PD2,70	20				128		
		40				100		28
		70					92	36
	PD3,50	20				128		
		40				56	72	
		70					84	44
Janelas Adjacentes	PD2,70	20			46	82		
		40			16	63		49
		70				63	37	28
	PD3,50	20			35	93		
		40				76	52	
		70				46	38	44

→ Configurações espaciais das zonas de iluminação.

Como nos modelos M1 e M2, as zonas configuram-se paralelas à fachada com abertura principal possuindo profundidades variáveis nos modelos com iluminação unilateral. A quantidade de zonas nesses casos é similar aos dos modelos M1 (1 a 3 zonas); por apresentarem igual profundidade (8 metros).

O arranjo mais comum dos modelos com iluminação oposta assemelha-se à configuração dos modelos com janela única. Esta configuração representa o resultado de zoneamento da luz natural de quase todos os modelos, com exceção apenas dos casos PD270_PAF70 orientados ao Norte e ao Sul. Esses últimos possuem configurações específicas de zoneamento e representam outros dois tipos de configuração para o M3 – ver quadros 10 e 11.

As configurações espaciais dos modelos com janelas adjacentes são bastante irregulares, afastando-se do padrão de zonas paralelas à parede da fachada principal. A principal similaridade entre esses arranjos está na localização das zonas mais claras e escuras, que ocorrem respectivamente nas áreas mais próximas e afastadas das janelas.

→ Magnitudes das zonas de iluminação – zonas 0 a 5.

Na tabela 27 estão indicadas as porcentagens de ocorrência das magnitudes das zonas nos casos do Modelo 3, de acordo com a orientação da fachada principal.

Tabela 27 – Frequência que ocorrem as zonas de iluminação (Z0 a Z5) nos casos arquitetônicos do M3 de acordo com a orientação da fachada principal.

Casos arquitetônicos		Frequência que ocorrem as zonas de iluminação (Z0 a Z5) (%)					
Orientação	Nº	Zona 0	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
Norte	18	0	0	27.8	94.4	44.4	66.7
Sul	18	0	5.6	50	94.4	33.3	22.2
Leste	18	0	5.6	33	89	28	44.4
Oeste	18	0	0	33.3	88.9	33.3	50
Total	72	0	2.8	36.1	91.7	34.8	47.2

A partir dos dados tabela 27, observa-se, como nos modelos 1 e 2, que a zona 3 é a que mais ocorre; em 91.7% dos casos. Por outro lado, a zona 0 não ocorre nos casos do M3. Esta zona é definida apenas em ambientes profundos com janela única, onde a distância entre a abertura principal e os fundos da sala é de 16m. Também é possível avaliar, a partir da tabela 30, a relação entre a ocorrência das zonas e a orientação do modelo. Dentre as orientações estudadas, a fachada Norte apresenta principalmente as zonas mais iluminadas: a zona 4 ocorre em 44.4% dos casos orientados ao Norte e, 66.7% desses casos, apresentam a Z5. Os casos orientados ao Leste e a Oeste apresentam as mesmas zonas de iluminação. Por fim, a orientação Sul apresenta a menor ocorrência da zona 5 (22.2%), por ser a orientação que menos recebe sol.

O aumento do PAF da fachada principal influencia nas magnitudes das zonas definidas para os casos do M3 (Tabela 27). Nos modelos com PAF reduzido (PAF20), não são determinadas zonas 4 e 5, que correspondem iluminâncias acima de 1350lux; em compensação, nos modelos com PAF elevado (PAF70), 50% e 87,5% dos casos apresentam, respectivamente, as zonas 4 e 5. A quantidade de luz natural admitida é maior quando o ambiente possui grandes aberturas, resultando em níveis de iluminâncias maiores, principalmente nas regiões próximas às aberturas.

As zonas de maior magnitude localizam-se próximas às janelas e as zonas de menor magnitude nas áreas mais distantes das aberturas. Desse modo, as zonas mais escuras dos modelos com janela única localizam-se nos fundos da sala; nos com janela oposta, na área central do ambiente; e nos modelos com janela adjacente, no vértice contrário às aberturas. Esses exemplos podem ser observados nos quadros 10 a 13.

→ Área das zonas de iluminação.

Como nos modelos 1 e 2, as dimensões das zonas relacionam-se à percentual de abertura na fachada e a mudança de pé direito. Como já mencionado, quanto mais alta a janela, as zonas mais iluminadas atingem maiores profundidades e as zonas mais escuras possuem suas áreas reduzidas. Em relação ao PAF, nota-se que quanto maior a área de abertura na fachada principal, menor a área da zona mais escura.

4.1.4 Síntese dos resultados do zoneamento da iluminação natural

A configuração espacial (Figura 4.2) relaciona-se principalmente ao posicionamento das aberturas nas fachadas, pois esta característica modifica a distribuição espacial dos níveis de iluminação admitida no ambiente. De modo geral, os arranjos das zonas nos modelos com iluminação unilateral e oposta são semelhantes. Estas se apresentam paralelas à fachada principal possuindo profundidades variáveis. Uma característica diferente entre os arranjos desses modelos é a disposição das zonas mais iluminadas e mais escuras no ambiente. Considerando que as iluminâncias mais baixas ocorrem nas regiões mais afastadas das janelas, nos modelos com janela única, as zonas de menor iluminação localizam-se nos fundos da sala, e, nos casos com iluminação oposta, na área central do ambiente.

Quando a iluminação natural é admitida através de aberturas adjacentes, a configuração das zonas de iluminação é irregular, afastando-se do padrão de zonas paralelas à parede da fachada principal. A única similaridade entre esses arranjos está na localização das zonas mais claras e mais escuras, que se encontram, respectivamente, nas áreas mais próximas e afastadas das janelas.

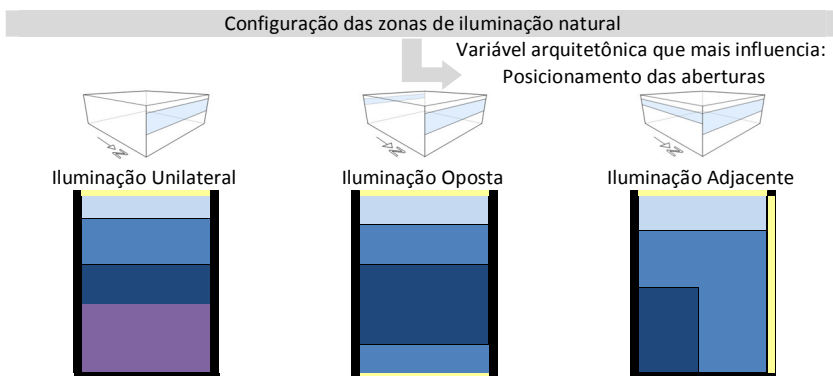


Figura 4.2 – Esquema geral das configurações espaciais das zonas de iluminação natural.

*Sem escala.

A magnitude da zona está relacionada à quantidade de luz admitida no ambiente, ou seja, ao nível de iluminância proporcionada

pela luz natural. A orientação, profundidade e percentual de área de abertura na fachada influenciam nas magnitudes das zonas (Figura 4.3). Quanto maior o PAF, maior a ocorrência de zonas mais iluminadas. Dentre as orientações estudadas, a fachada Norte é a que mais apresenta zona 5; e, por outro lado, a orientação Sul é a que mais apresenta zonas de baixas iluminâncias, por ser a orientação com menor insolação, devido a posição geográfica e condições atmosféricas de Florianópolis. Com relação à profundidade do ambiente, o alcance da luz natural é dificultado em ambientes mais profundos, dando margem para ocorrer zonas mais escuras.

O aumento do percentual da área de abertura na fachada principal, caso não acarrete na elevação da magnitude das zonas, leva ao aumento das áreas das zonas próximas às janelas e diminuição da zona mais escura (afastada da janela).

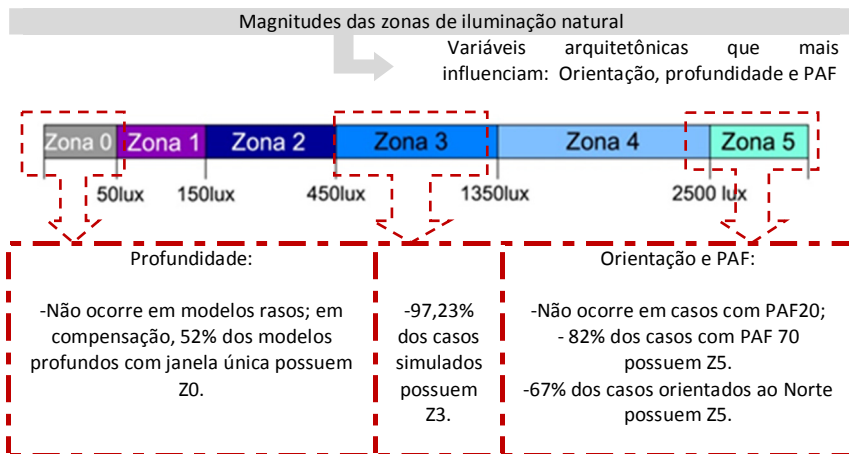


Figura 4.3 - Esquema geral das magnitudes das zonas de iluminação natural.

As dimensões das zonas também podem ser relacionadas a mudança de pé direito. Consta-se que quanto mais alta a janela, melhor é a distribuição da iluminação natural no interior do ambiente, alcançando as áreas mais afastadas da janela. Isso acarreta na diminuição das dimensões ou supressão da área da zona mais escura comparando com o ambiente de altura inferior.

4.2 ANÁLISE DAS SIMULAÇÕES DE USO DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

Para cada caso arquitetônico, as simulações da iluminação artificial foram realizadas duas vezes, pois se considera o caso zoneado e não zoneado. No caso não zoneado, o sistema de iluminação artificial é controlado de forma conjunta; por outro lado, no caso zoneado, a iluminação artificial foi dividida em zonas de controle baseando-se nas zonas de iluminação natural, de modo que cada zona seja controlada de forma independente. Dessa forma, essas simulações possibilitam uma análise comparativa entre os resultados de acionamento da iluminação artificial dos modelos zoneados e não zoneados.

Como descrito no método, os períodos de acionamento da iluminação artificial, utilizando diferentes controles (liga/desliga e dimerizável), são fornecidos, pelo programa Daysim, para todas as horas ocupadas do ano. A soma das frações de sistema acionadas em cada hora representa o total de horas que o sistema permaneceu ativo utilizando 100% da sua potência instalada. Esse foi o resultado utilizado para comparar os gastos em iluminação nos ambientes com e sem zonas de iluminação. Os valores estão representados em gráficos (Figuras 4.4; 4.5; 4.8; 4.9; 4.12; 4.13), onde também estão indicadas as reduções nas horas de uso do sistema de iluminação artificial (R) quando o ambiente é zoneado.

Todos os resultados encontrados estão sistematizados e separados nos três grupos de modelos: M1, M2, M3.

Modelo 1

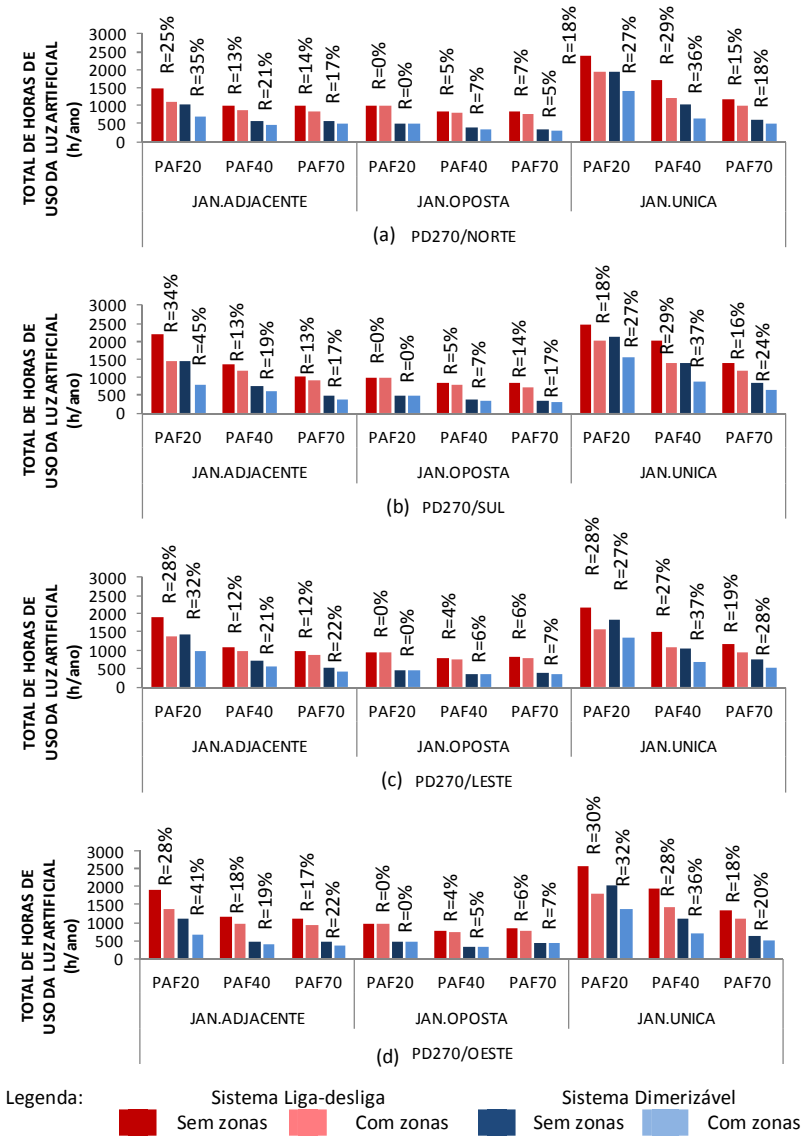


Figura 4.4 – Horas de uso do sistema de iluminação artificial (anual) e reduções das horas de uso em percentual quando aplicado o conceito de zoneamento no ambiente (R), nos casos dos M1 com PD2,70m orientados ao (a) Norte; (b) Sul; (c) Leste; (d) Oeste.

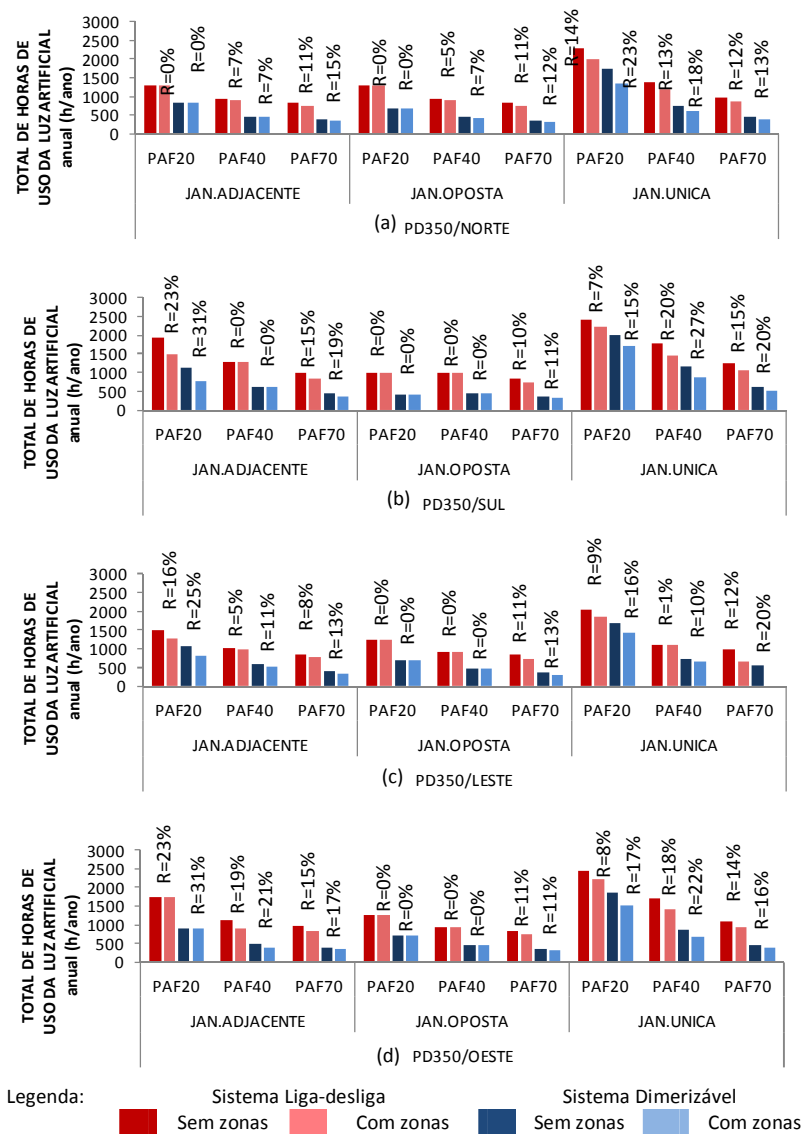


Figura 4.5 – Horas de uso do sistema de iluminação artificial (anual) e reduções das horas de uso em percentual quando aplicado o conceito de zoneamento no ambiente (R), nos casos dos M1 com PD3,50m orientados ao (a) Norte; (b) Sul; (c) Leste; (d) Oeste.

As figuras 4.4 e 4.5 contêm os resultados obtidos das horas de uso da iluminação artificial num período anual para os casos arquitetônicos do Modelo 1 – PD2,70m e PD3,50m, quando os sistemas são controlados pelos mecanismos automáticos dois passos (liga-desliga) e dimerizável. Também estão indicadas as reduções das horas de uso do sistema de iluminação artificial (R) quando o ambiente é zoneado.

Na análise de uso do sistema artificial de iluminação, percebe-se, nos casos M1, que os resultados absolutos de tempo de uso da iluminação estão diretamente relacionados às características do ambiente. Os valores mais altos de uso da iluminação artificial ocorrem, por exemplo, no caso com janela única de PAF 20 voltado para o Sul, tanto no sistema de controle liga-desliga quanto no dimerizável – ver valores na tabela 28.

Tabela 28 – Casos M1 com valores máximos de horas de uso da iluminação artificial.

Casos M1 orientado a Sul com jan. única, PAF20.	Horas de Uso do Sistema de Iluminação Artificial (horas/ano)			
	Sistema Liga-Desliga		Sistema Dimerizável	
	Ambiente Não zoneado	Ambiente Zoneado	Ambiente Não zoneado	Ambiente Zoneado
PD 2,70m	2462	1996	2124	1542
PD 3,50m	2402	2227	2026	1714

Isso se dá em função da combinação das seguintes variáveis geométricas: orientação, posicionamento da janela e área de abertura na fachada. O tipo de abertura unilateral, além de apresentar a menor área de abertura nas fachadas, ocasiona a iluminação mais variável, pois o nível de iluminância diminui rapidamente com o aumento da distância da janela, apresentando áreas sombrias nos fundos da sala, o que eleva a necessidade do uso da iluminação artificial. Quanto menor o PAF, maior o tempo de uso da iluminação artificial, devido à reduzida quantidade de luz natural que entra no ambiente. Por fim, a orientação Sul, devido à localização geográfica, é a orientação que menos recebe luz natural na cidade de Florianópolis, sendo necessário o uso mais frequente do sistema artificial como complemento para se atingir a iluminância de projeto.

O posicionamento das aberturas e PAF são as características geométricas que mais influenciam no uso final da iluminação artificial. A figura 4.6 mostra os valores médios das horas de uso da iluminação

artificial, segundo essas características, para os casos com pé direito de 2,70 e 3,50m. De modo geral, o aumento do pé-direito diminui a demanda de uso da iluminação artificial no ambiente, pois há maior aproveitamento da iluminação natural. Quanto mais alta a abertura mais uniforme é a distribuição da iluminação no interior do ambiente, alcançando as faixas mais afastadas da janela; nesses casos, a porcentagem de área das zonas mais iluminadas é maior. Como exceção, os casos com janelas opostas, PAF20 e PAF40 apresentam resultados de acionamento da iluminação artificial menores quando a altura do pé-direito é de 2,70m. Nesses casos, o aumento do pé-direito não traz diferenças significativas no alcance da iluminação natural no interior do ambiente, devido ao posicionamento das aberturas de forma oposta, porém ocorre um abaixamento dos níveis de iluminância. Nos casos com pé-direito de 3,50m ocorrem zonas mais escuras que nos casos com altura menor.

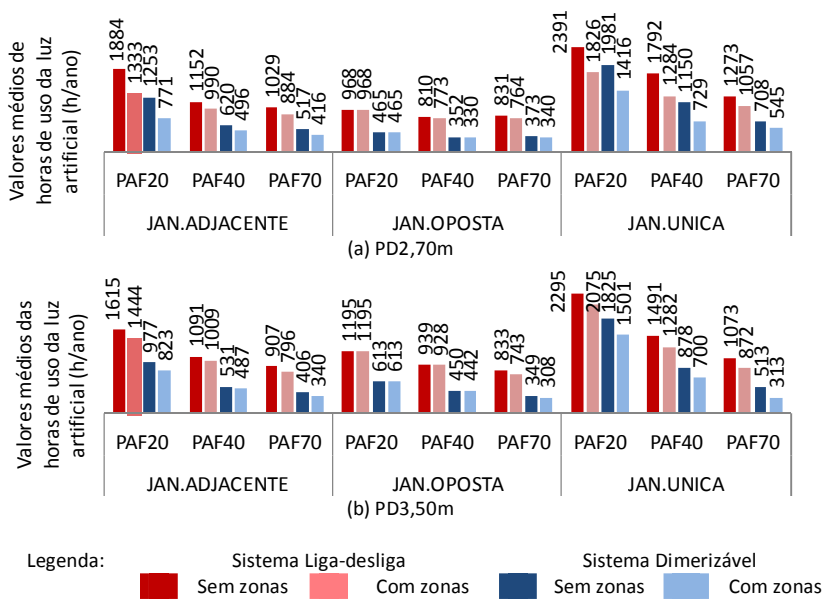


Figura 4.6 - Valores médios das horas de uso do sistema de iluminação artificial, em horas/ano, nos casos dos M1 com (a) PD2,70m e (b) PD3,50m.

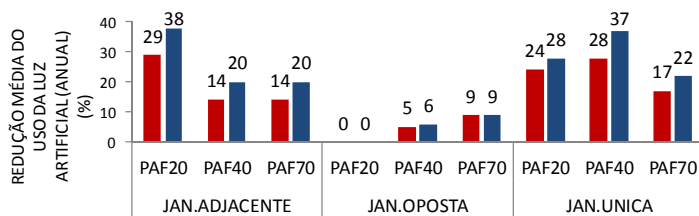
Retomando as figuras 4.4 e 4.5, ao comparar os valores das horas de uso do sistema de iluminação artificial dos modelos sem zonas

e dos zoneados, observa-se que todos os ambientes zoneados apresentam reduções no tempo de uso da luz artificial (R), com exceção dos casos que obtiveram como resultado de zoneamento uma única zona de iluminação – salas com janelas opostas, PAF20, voltadas para as quatro orientações. Nesses casos, a quantidade de horas de uso da iluminação artificial mostra-se idêntico nos modelos zoneado e não zoneado (figuras 4.4 e 4.5).

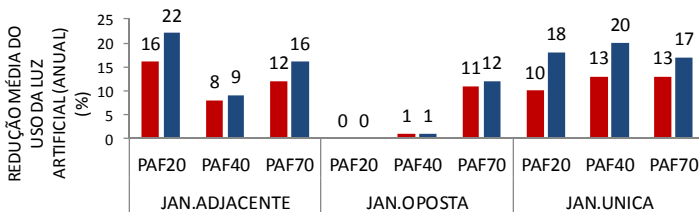
Nos outros casos arquitetônicos do M1, as reduções de uso da luz artificial variam de 4% (PD270/Leste e Oeste/J.Oposta/PAF40) a 34% (PD270/Sul/J.adjacente/PAF20) quando se utiliza o sistema liga desliga; e de 5% (PD270/Norte e Oeste/J.Oposta/PAF40) a 45% (PD270/Sul/J.adjacente/PAF20), para o sistema dimerizável. Todos os casos, cuja iluminação artificial é controlada por sistema dimerizável, apresentam maiores reduções a partir da divisão do plano luminoso em zonas, com exceção do caso PD270/Norte/J.Oposta/PAF40 – ver figura 4.4.

Os valores de redução das horas de uso do sistema de iluminação artificial quando o ambiente é zoneado são semelhantes para as quatro orientações, tanto nos casos com PD2,70m e PD3,50m. A figura 4.7 mostra valores médios de redução para os casos do M1 orientados ao Norte, Sul, Leste e Oeste.

Comparando os resultados médios dos casos com PD2,70 e 3,50m, nota-se que, nos casos com PD3,50m, a diferença média entre as horas de funcionamento do sistema de luz artificial dos modelos sem zonas e com zonas (R) é menor, comparando com os resultados encontrados nos modelos com pé direito de 2,70m. Isso ocorre porque as diferenças entre as iluminâncias das regiões mais iluminadas e mais escuras são menores; pois, com janelas mais altas, a luz natural é distribuída de forma mais regular.



(a) PD2,70m



(b) PD3,50m



Figura 4.7 – Reduções médias das horas de uso em percentual quando aplicado o conceito de zoneamento no ambiente (R), nos casos dos M1 com (a) PD2,70m e (b) PD3,50m.

A partir da figura 4.7, observa-se também que o zoneamento da iluminação natural quase não gera economia em iluminação artificial nos modelos com janelas opostas – com maior redução média de 12%. Por outro lado, nos ambientes com iluminação unilateral, as reduções médias chegam a 37% comparando com o modelo não zoneado.

Essa discrepância de reduções (R) pode ser relacionada às magnitudes e às suas áreas das zonas de iluminação natural determinadas em cada modelo. Para auxiliar essa avaliação, as tabelas 32 a 42 anexadas no apêndice apresentam, detalhadamente, os dados de acionamento em cada zona. Como dito no Método, para cálculo das horas finais que o sistema artificial permanece ligado nos modelos zoneados, foi necessário simular, separadamente, como funciona o acionamento da luz artificial em cada zona, para depois ser efetuada uma ponderação entre esses resultados e as áreas das zonas. Nas tabelas 32 a 42 estão apresentados esses valores obtidos a partir

dessas simulações: nas linhas estão listados todos os casos do M1 e, nas colunas, indicam-se as horas de uso da iluminação artificial e a porcentagem de área de cada zona existente no modelo.

Os modelos que apresentam exclusivamente zonas de altas magnitudes (Z3, Z4 e Z5), como resultado da aplicação do método de zoneamento da iluminação, possuem pequenas reduções nas horas de uso da luz artificial comparando com os modelos sem zonas, pois as iluminâncias proporcionadas pela luz natural mostram-se mais altas que a iluminância de projeto na maior parte do tempo, assim, mesmo sem a divisão de zonas, o sistema artificial é pouco utilizado como complemento para se atingir a iluminância requerida. Isso pode ser constatado, em todos os modelos, invariavelmente do tipo de controle instalado, que possuem somente as zonas 3, 4 e 5 no resultado de zoneamento.

Observa-se também, a partir dos valores das tabelas 32 a 42, no apêndice, que quanto maior o espaçamento entre as magnitudes das zonas mais iluminadas e, das mais escuras, maior a influência do zoneamento da iluminação natural no uso da iluminação artificial. Em outras palavras, as porcentagens de reduções das horas de uso da luz artificial são maiores quanto maior variação espacial se apresenta a luz natural, ou seja, quanto maior a diferença entre as iluminâncias máxima e mínima proporcionadas pela luz natural. Com a divisão de zonas, a iluminação artificial deixa de ser acionada regularmente em todo ambiente e passa a adequar-se às características luminosas de cada zona.

Com relação ao tamanho da zona, quanto menor a área da zona mais escura, maior a diferença de horas de funcionamento da iluminação artificial quando se aplica o método de zoneamento da luz. Obviamente isso ocorre caso o modelo apresente zonas cujo intervalo de iluminâncias está abaixo do nível de projeto definido para o ambiente, de 500 lux.

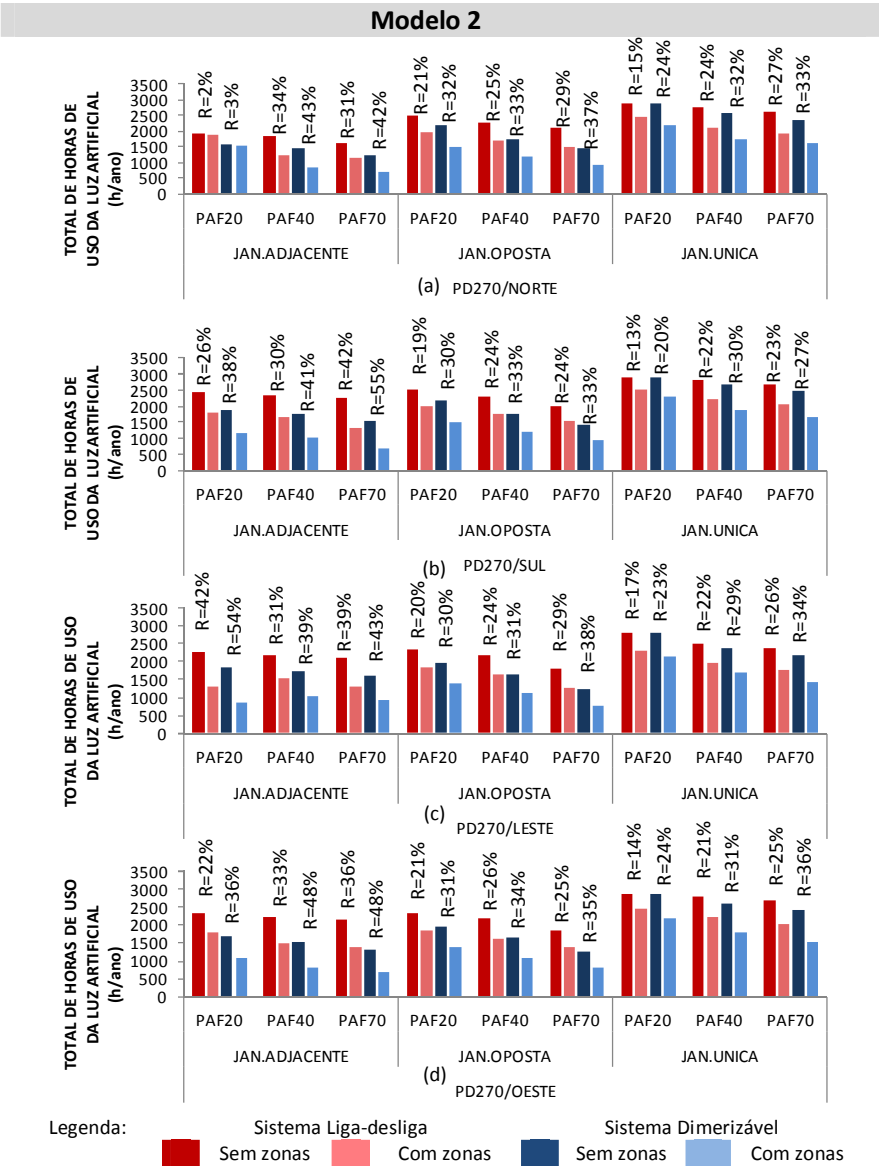


Figura 4.8 – Horas de uso do sistema de iluminação artificial (anual) e reduções das horas de uso em percentual quando aplicado o conceito de zoneamento no ambiente (R), nos casos dos M2 com PD2,70m orientados ao (a) Norte; (b) Sul; (c) Leste; (d) Oeste.

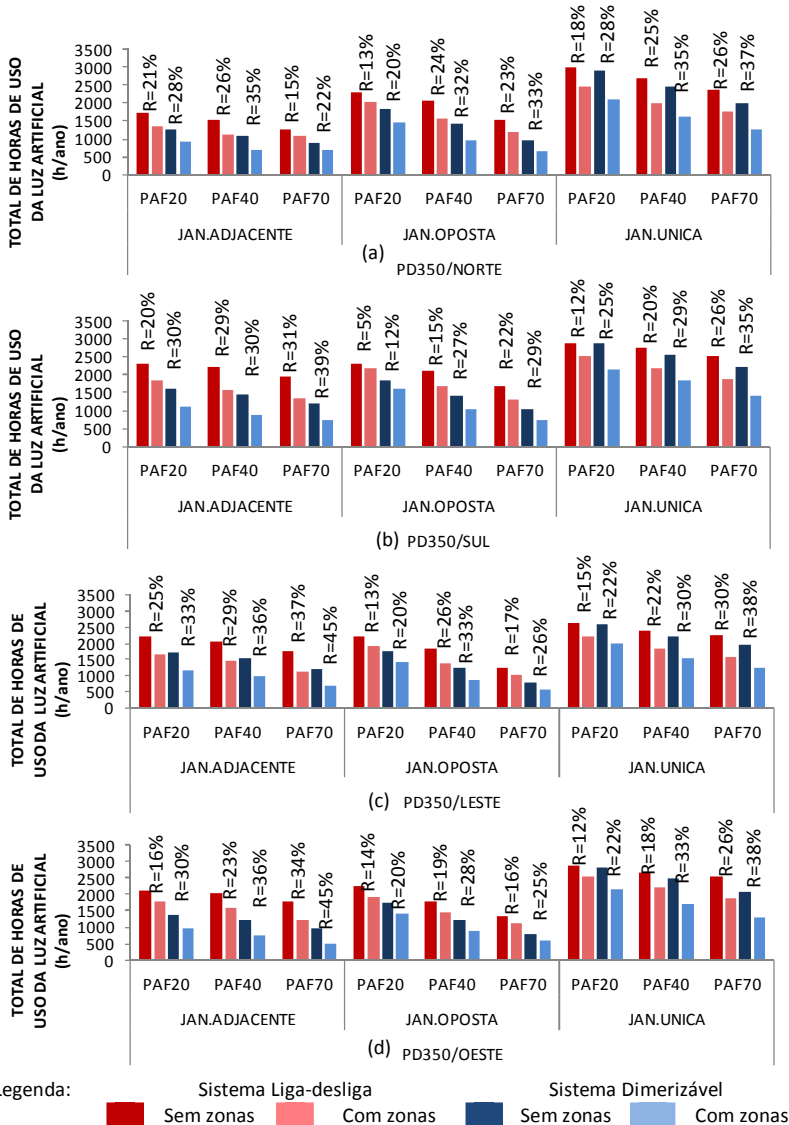
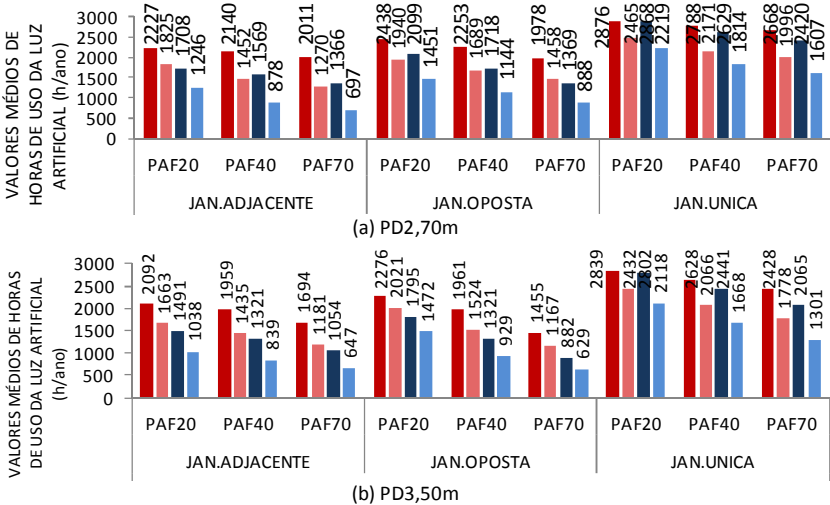


Figura 4.9 – Horas de uso do sistema de iluminação artificial (anual) e reduções das horas de uso em percentual quando aplicado o conceito de zoneamento no ambiente (R), nos casos dos M2 com PD3,50m orientados a (a) Norte; (b) Sul; (c) Leste; (d) Oeste.

As figuras 4.8 e 4.9 contêm os resultados das horas de uso da iluminação artificial num período anual para os casos arquitetônicos do Modelo 2 – PD2,70m e PD3,50m, quando os sistemas são controlados pelos mecanismos automáticos dois passos (liga-desliga) e dimerizável. Também estão indicadas as reduções das horas de uso do sistema de iluminação artificial (R) quando o ambiente é zoneado.

A partir desses resultados, percebe-se que os valores absolutos de horas de uso da iluminação artificial estão relacionados principalmente à profundidade do ambiente. Devido a grande profundidade, esses modelos apresentam luz natural apenas na região próxima à abertura, fazendo com que a iluminação artificial permaneça ligada mais horas no ano para atingir a iluminância de projeto comparando com modelos rasos (por exemplo M1 e M3). A figura 4.10 mostra os valores médios das horas de uso da iluminação artificial para os casos com pé direito de 2,70 e 3,50m.



Legenda: Sistema Liga-desliga (Sem zonas, Com zonas) Sistema Dimerizável (Sem zonas, Com zonas)

Figura 4.10 - Valores médios das horas de uso do sistema de iluminação artificial, em horas/ano, nos casos dos M2 com (a) PD2,70m e (b) PD3,50m.

Os valores mais altos de uso da iluminação artificial ocorrem nos casos com janela única de PAF 20 voltado para o Sul, tanto no sistema de controle liga-desliga quanto no dimerizável – ver valores na tabela 29. Isso ocorre em função da profundidade do ambiente, pelo tipo de iluminação unilateral e pelo PAF reduzido. O tipo de abertura unilateral, além de apresentar a menor área de abertura nas fachadas, ocasiona a iluminação mais variável, apresentando grandes áreas sombrias nos fundos da sala, principalmente nos ambientes profundos. Conjugado a isso, o PAF reduzido diminui a quantidade de luz natural que entra no ambiente, fazendo com que exista maior demanda de uso do sistema de iluminação artificial para se atingir a iluminância de projeto.

Tabela 29 – Casos M2 com valores máximos de horas de uso da iluminação artificial.

Casos M1 orientado a Sul com jan. única, PAF20.		Horas de Uso do Sistema de Iluminação Artificial (horas/ano)			
		Sistema Liga-Desliga		Sistema Dimerizável	
		Ambiente NãoZoneado	Ambiente Zoneado	Ambiente Não Zoneado	Ambiente Zoneado
Sul	PD 2,70m	2878	2499	2878	2301
	PD 3,50m	2871	2529	2871	2152

A partir das figuras 4.8 e 4.9, ao comparar os valores das horas de uso do sistema de iluminação artificial dos casos sem zonas e os zoneados observa-se que, como no M1, todos os ambientes zoneados apresentam reduções de uso da luz artificial (R). As reduções de uso da luz artificial variam de 2% (PD270/Norte/J.Adjacente/PAF20) a 42% (PD270/Sul/J.adjacente/PAF70) quando se utiliza o sistema liga desliga; e de 3% (PD270/Norte/J.Adjacente/PAF20) a 55% (PD270/Sul/J.Adjacente/PAF70), para o sistema dimerizável. Todos os casos, cuja iluminação artificial é controlada por sistema dimerizável, apresentam maiores reduções a partir da divisão do plano luminoso em zonas – ver figuras 4.8 e 4.9.

A elevada redução do tempo de uso do sistema de iluminação artificial do caso Sul/PD2,70/Jan.Adjacente/PAF70, proporcionada pelo zoneamento da iluminação, pode ser justificada pelas características das zonas do ambiente (magnitude e área). Conforme vistas na figura 4.11, as magnitudes das zonas neste caso são Zona 2 (150 lux a 450 lux), Zona 3 (450 lux a 1350 lux) e Zona 5 (acima de 2500lux). Isso

representa grande diferença entre as iluminâncias máxima e mínima produzidas pela luz natural, de modo que cada zona seja acionada de forma bastante particular. Comparando o tempo de funcionamento do sistema de iluminação artificial da zona mais escura (Z2) e a zona mais iluminada (Z5), nota-se que o sistema da zona 2 permanece acionado por muito mais tempo, utilizando tanto o controle liga-desliga quanto o dimerizável. A diferença é de 1566h, para o sistema liga-desliga e de 1271h, para o dimerizável. Além disso a área da zona mais escura, Z2, corresponde a apenas 14% da área total do ambiente. Isso significa que, apesar da alta demanda de acionamento do sistema de iluminação artificial, a influência dessa zona no uso final da iluminação artificial mostra-se pequena.

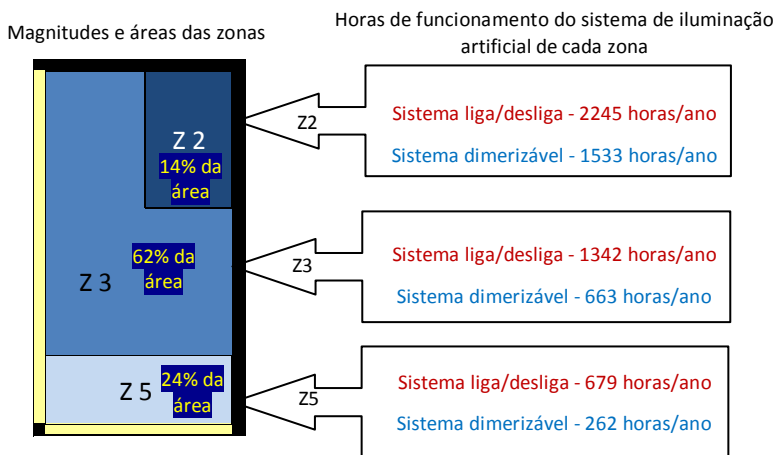


Figura 4.11 – Influência das características das zonas de iluminação no controle do sistema de iluminação artificial – caso Sul/PD2,70/Jan.Adjacente/PAF70

Modelo 3

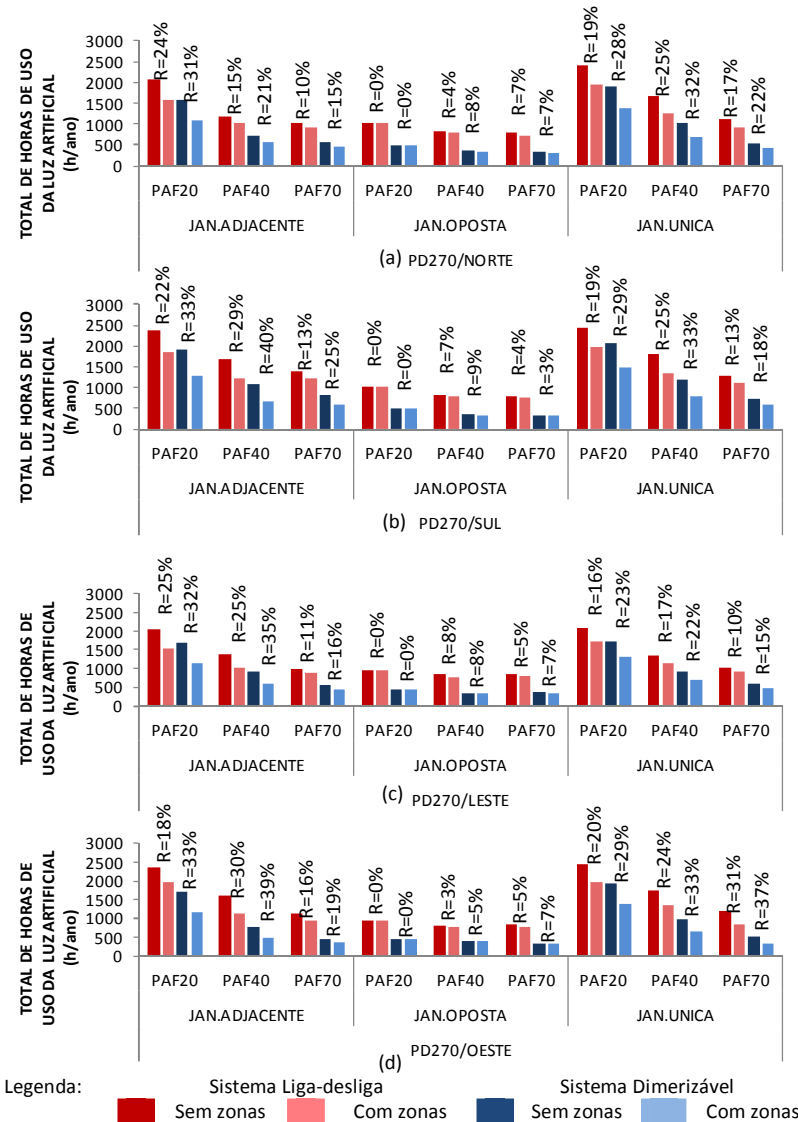


Figura 4.12 – Horas de uso do sistema de iluminação artificial (anual) e reduções das horas de uso em percentual quando aplicado o conceito de zoneamento no ambiente (R), nos casos dos M3 com PD2,70m orientados ao (a) Norte; (b) Sul; (c) Leste; (d) Oeste.

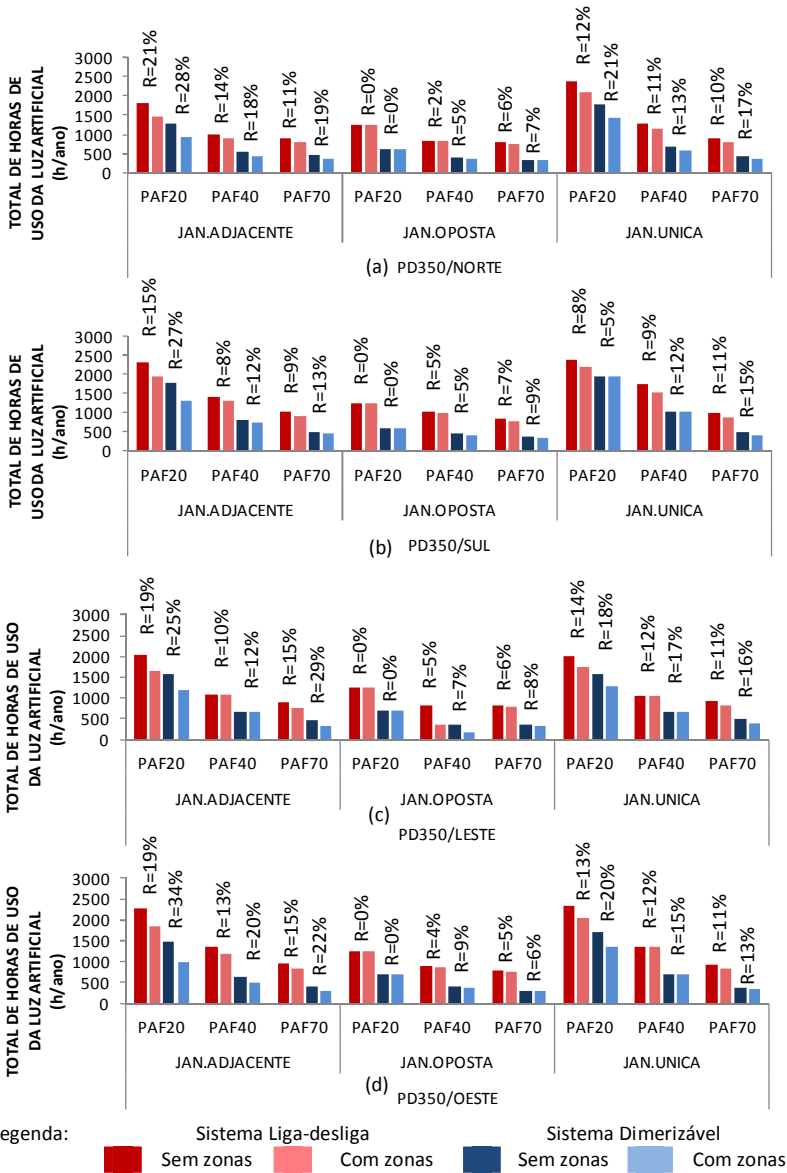


Figura 4.13 – Horas de uso do sistema de iluminação artificial (anual) e reduções das horas de uso em percentual quando aplicado o conceito de zoneamento no ambiente (R), nos casos dos M3 com PD3,50m orientados ao (a) Norte; (b) Sul; (c) Leste; (d) Oeste.

As figuras 4.12 e 4.13 contêm os resultados das horas de uso da iluminação artificial num período anual para os casos arquitetônicos do Modelo 3 – PD2,70m e PD3,50m, quando os sistemas são controlados pelos mecanismos automáticos dois passos (liga-desliga) e dimerizável. Também estão indicadas as reduções das horas de uso do sistema de iluminação artificial (R) quando o ambiente é zoneado.

Os resultados de total de horas de uso da iluminação artificial nos Modelos 3 são similares aos do Modelo 1 pois as características dos zoneamentos da iluminação natural são semelhantes – como já apresentado anteriormente. Comparando aos resultados dos modelos 2, o tempo de uso da iluminação artificial é menor devido principalmente a configuração rasa do ambiente, principalmente. A figura 4.14 mostra os valores médios das horas de uso da iluminação artificial para os casos com pé direito de 2,70 e 3,50m.

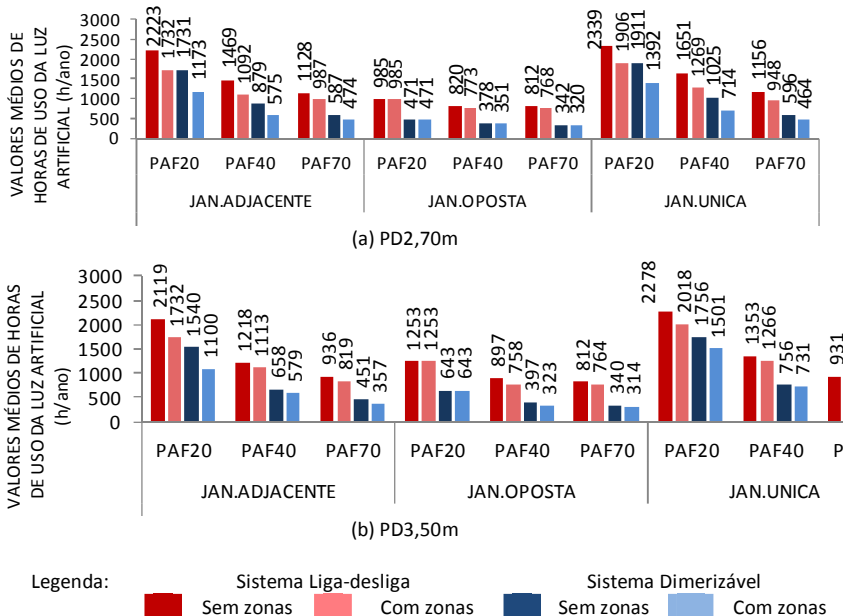


Figura 4.14 - Valores médios das horas de uso do sistema de iluminação artificial, em horas/ano, nos casos dos M3 com (a) PD2,70m e (b) PD3,50m.

Quanto menor a profundidade da sala, maior a quantidade de área atingida pela luz natural e, de modo geral, menor o tempo de uso da luz artificial. Além disso, maiores aberturas atingem mais facilmente a iluminância de projeto de 500lux em ambientes rasos, o que reduz ainda mais os resultados de horas de uso da luz artificial nos modelos com PAF70, principalmente para ambientes com janelas opostas.

Comparando os valores das horas de uso do sistema de iluminação artificial dos modelos sem zonas e os zoneados observa-se que todos os ambientes zoneados apresentam reduções de uso da luz artificial, com exceção dos casos com janelas opostas, com PAF de 20, cujos resultados são idênticos nas situações sem zonas e zoneadas (ou seja, redução nula).

Nos outros casos arquitetônicos do M3, as reduções de uso da luz artificial variam de 2% (PD350/Norte/J.Oposta/PAF40) a 30% (PD270/Oeste/J.adjacente/PAF40) quando se utiliza o sistema liga desliga; e de 3% (PD270/Sul/J.Oposta/PAF70) a 40% (PD270/Sul/J.adjacente/PAF40), para o sistema dimerizável.

Os valores de redução das horas de uso do sistema de iluminação artificial quando o ambiente é zoneado são semelhantes para as quatro orientações, tanto nos casos com PD2,70m e PD3,50m. A figura 4.15 mostra valores médios de redução para os casos do M3 orientados ao Norte, Sul, Leste e Oeste.

Comparando os resultados médios dos casos com PD2,70 e 3,50m, nota-se que, nos casos com PD3,50m, a diferença média entre as horas de funcionamento do sistema de luz artificial dos modelos sem zonas e com zonas (R) é menor, comparando com os resultados encontrados nos modelos com pé direito de 2,70m. Isso ocorre porque as diferenças entre as iluminâncias das regiões mais iluminadas e mais escuras são menores; pois, com janelas mais altas, a luz natural é distribuída de forma mais regular.

Quanto à diferença entre os sistemas de controles nota-se que quando utilizado o sistema dimerizável para controle da iluminação artificial, a redução do acionamento do sistema é maior a partir da divisão do plano luminosa em zonas.

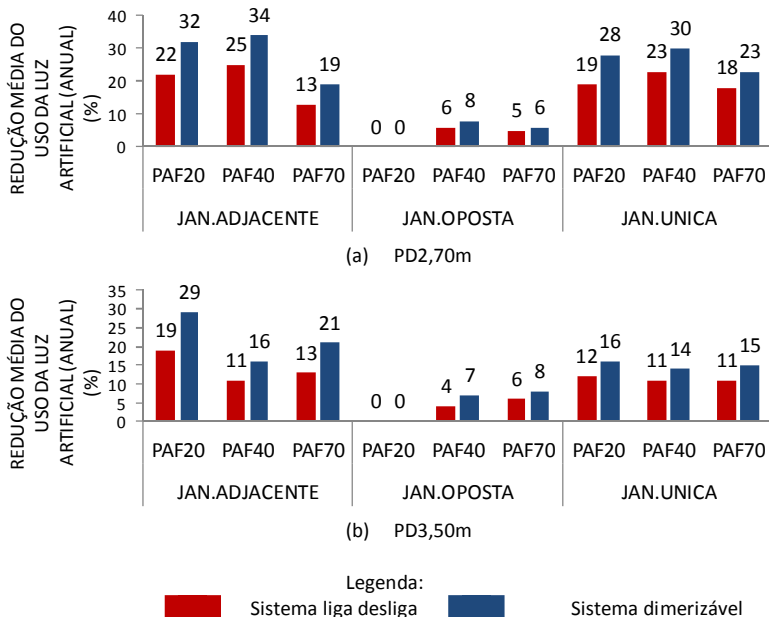


Figura 4.15 – Reduções médias das horas de uso em percentual quando aplicado o conceito de zoneamento no ambiente (R), nos casos dos M3 com (a) PD2,70m e (b) PD3,50m.

Nos modelos com janelas opostas verificam-se baixas reduções em iluminação artificial após a aplicação do método de zoneamento da luz no ambiente. Dentre esses casos, os modelos PD2,70m/SUL/PAF40 e PD3,50m/SUL/PAF70, apresentam os maiores percentuais de redução: 7% e 9%, utilizando, respectivamente os controles liga-desliga e dimerizável (figuras 4.12 e 4.13). Esses resultados de pequenas reduções estão relacionados à homogeneidade dos níveis de iluminância; quanto menor a diferença entre as iluminâncias máxima e mínima encontradas no interior do ambiente, ou seja, quanto mais homogênea a luz natural admitida, menor a influência do zoneamento da iluminação natural no tempo de uso do sistema artificial. Vale destacar que essa homogeneidade das iluminâncias é garantida pela configuração geométrica do ambiente: pequena profundidade (8m) e iluminação oposta.

4.2.1 Síntese dos resultados de uso da iluminação artificial

De modo geral, ao comparar os valores das horas de uso do sistema de iluminação artificial dos modelos sem zonas e os zoneados, observa-se que todos os ambientes zoneados apresentam reduções de uso da luz artificial, com exceção dos casos que apresentaram uma única zona de iluminação, pois não há diferenças em relação ao tempo de uso da luz artificial.

As menores reduções ocorrem nos modelos rasos (M1 e M3) com janelas opostas. As reduções chegam a 11%, com o uso do controle liga-desliga; e a 12%, com o controle dimerizável, valores estes bem baixos. Nesses casos, os níveis da iluminação natural possuem uma distribuição homogênea, o que resulta um número reduzido de zonas de iluminação. Quanto menor a diferença entre as iluminâncias máxima e mínima encontradas no interior do ambiente, menor a influência do zoneamento da iluminação natural no tempo de uso do sistema artificial.

Por outro lado, alguns ambientes apresentam valores altos de redução do uso do sistema de iluminação artificial devido à aplicação do zoneamento da iluminação. Os valores máximos encontrados nos modelos estão mostrados na tabela 30.

Tabela 30 - Reduções máximas nas horas de uso do sistema de iluminação artificial quando aplicado o conceito de zoneamento da iluminação natural no ambiente (%).

Ambiente	Sistemas de Controle	
	Liga-desliga	Dimerizável
M1 – PD270/SUL/J.Adjacente/PAF20	35%	45%
M2 – PD270/SUL/J.Adjacente/PAF70	42%	55%
M2 – PD270/LESTE/J.Adjacente/PAF70	42%	54%

As características do zoneamento da iluminação natural desses modelos influenciam nos valores altos de redução de uso da iluminação artificial – ver figura 4.16. Os três modelos apresentam pelo menos uma zona com iluminâncias abaixo da iluminância de projeto (Z0, Z1, Z2) e uma com iluminâncias acima de 500lux (Z3, Z4, Z5).

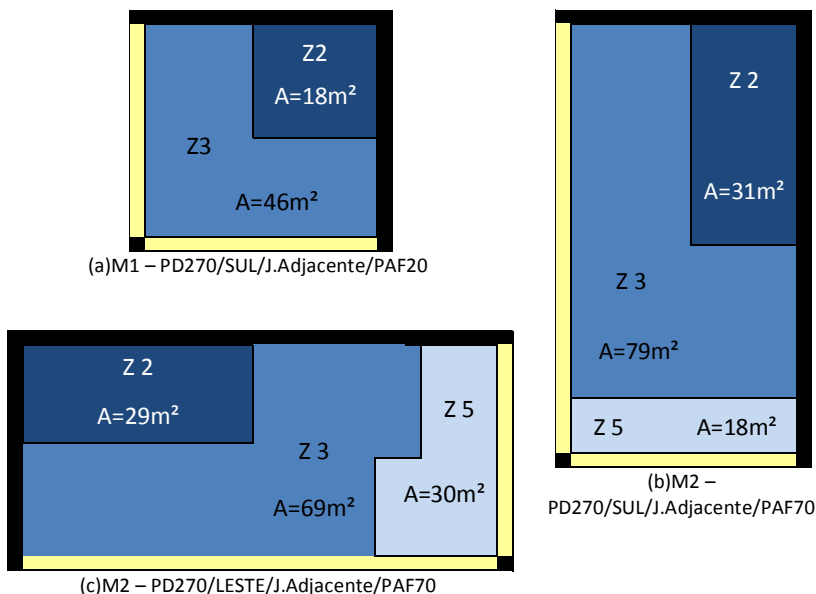


Figura 4.16 – Zoneamento da iluminação natural dos casos (a) M1 – PD270/SUL/J.Adjacente/PAF20; (b) M2 – PD270/SUL/J.Adjacente/PAF70; (c) M2 – PD270/LESTE/J.Adjacente/PAF70.

*A – área da zona de iluminação natural

As magnitudes das zonas definidas para estes casos são Zona 2 (150 lux a 450 lux), Zona 3 (450 lux a 1350 lux) e Zona 5 (acima de 2500lux). Isso representa grande diferença entre as iluminâncias máxima e mínima produzidas pela luz natural, de modo que cada zona seja acionada de forma bastante particular. Outro ponto que interfere nos altos valores de redução destes casos é a área reduzida da zona mais escura (Z2). Apesar da alta demanda de acionamento do sistema de iluminação artificial, a influência dessa zona no uso final da iluminação artificial mostra-se pequena.

5 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo refere-se às principais conclusões retiradas da pesquisa, seguidas de recomendações para trabalhos futuros que possibilitam dar continuidade ao estudo, aprofundando alguns aspectos abordados neste trabalho.

5.1 INTRODUÇÃO

Este trabalho almejou avaliar a influência do zoneamento da iluminação natural no tempo de acionamento do sistema de iluminação artificial.

Como já comprovado em diversos estudos, a luz natural merece destaque por proporcionar a redução do consumo com iluminação artificial, um dos itens responsáveis por grande parte do consumo de energia elétrica nas edificações. No entanto, a economia só ocorre quando o tempo e/ou a intensidade (potência) de uso da iluminação artificial é reduzido através da substituição pela luz natural, o que pode ser feito através da instalação de estratégias de controle apropriadas aos padrões luminosos do ambiente. Como forma de aperfeiçoar essa integração da luz natural e artificial, reduzindo o uso do sistema artificial, muitos trabalhos recomendam a aplicação do conceito de zoneamento da iluminação natural. Nesse sentido, a principal finalidade deste trabalho foi analisar a influência do zoneamento da luz natural nos ambientes onde se prevê a integração da luz natural e artificial através de sistemas de controle automáticos.

Este trabalho aplicou um método que, por meio de simulação computacional, compara o tempo de uso da iluminação artificial dos modelos com zonas de iluminação com o dos modelos não zoneados e considera dois tipos de controle da iluminação artificial com intuito de avaliá-los em função da luz natural disponível no ambiente.

Para isso foi escolhido o programa Daysim como ferramenta computacional para análise do desempenho da luz natural e artificial, pois possibilita desenvolver análise do comportamento da luz natural para o período de um ano, bem como processa o acionamento do

sistema de iluminação artificial considerando a luz natural disponível através do uso de diferentes sistemas de controle.

5.2 CONCLUSÕES

Este tópico está dividido em duas partes: zoneamento da iluminação natural e influência do zoneamento no uso do sistema de iluminação artificial. A primeira etapa diz respeito à caracterização do zoneamento da iluminação natural e suas relações com as características do ambiente e a segunda etapa mostra o impacto da divisão do ambiente em zonas no controle da iluminação artificial.

a) Zoneamento da iluminação Natural

Com a avaliação do comportamento da luz natural através da medida dinâmica, Autonomia da Luz Natural, foi possível caracterizar o zoneamento da iluminação natural em modelos arquitetônicos e identificar as diferenças dos resultados de zoneamento no que diz respeito às configurações espaciais, magnitudes e dimensões das zonas.

A configuração espacial relaciona-se principalmente ao posicionamento das aberturas nas fachadas, pois esta característica modifica a distribuição espacial dos níveis de iluminação admitida no ambiente. De modo geral, os arranjos das zonas nos modelos com iluminação unilateral e oposta são semelhantes. Estas se apresentam paralelas à fachada principal possuindo profundidades variáveis. Quando a iluminação natural é admitida através de aberturas adjacentes, a configuração das zonas de iluminação é irregular. Em geral, no vértice onde estão localizadas as janelas, há uma zona mais iluminada e no vértice oposto, uma zona mais escura.

A magnitude da zona (Z0, Z1, Z2, Z3, Z4 e Z5) está relacionada à quantidade de luz admitida no ambiente, ou seja, ao nível de iluminância proporcionada pela luz natural. A orientação, profundidade e percentual de área de abertura na fachada influenciam nas magnitudes das zonas. Quanto maior o PAF, maior a ocorrência de zonas mais iluminadas (82% dos casos com PAF70, possuem Z5). Dentre as orientações estudadas, a fachada Norte é a que mais apresenta zona 5 (67% dos casos); e, por outro lado, a orientação Sul é a que mais

apresenta zonas de baixas iluminâncias, por ser a orientação com menor insolação, devido a posição geográfica e condições atmosféricas de Florianópolis. Com relação à profundidade do ambiente, o alcance da luz natural é dificultado em ambientes mais profundos, dando margem para ocorrer zonas mais escuras. Nos ambientes iluminados unilateralmente, mais de 50% da área dos ambientes profundos (M2) dependem do complemento da iluminação artificial para atingir níveis de iluminância de 500 lux. Por fim, o aumento do percentual da área de abertura na fachada principal, caso não acarrete na elevação da magnitude das zonas, leva ao aumento das áreas das zonas próximas às janelas e diminuição da zona mais escura (afastada da janela).

As dimensões das zonas também podem ser relacionadas a mudança de pé direito. As salas com pé direito de 3,50m possuem área de janela igual aos modelos de 2,70m, no entanto suas aberturas estão fixadas em um ponto mais elevado. Consta-se que quanto mais alta a janela, melhor é a distribuição da iluminação natural no interior do ambiente, alcançando as áreas mais afastadas da janela. Isso acarreta na diminuição das dimensões ou supressão da área da zona mais escura comparando com o ambiente de altura inferior.

b) Influência do zoneamento no uso do sistema de iluminação artificial

O impacto da divisão do ambiente em zonas de iluminação natural no controle do sistema de iluminação artificial foi avaliado a partir da comparação das horas de uso da iluminação artificial entre modelos zoneados e não zoneados. Nessas análises, o sistema de iluminação artificial foi controlado por sistemas automáticos do tipo liga-desliga e dimerizável.

De modo geral, observa-se que todos os ambientes zoneados apresentam reduções de uso da luz artificial, com exceção dos casos que apresentaram uma única zona de iluminação, pois não há diferenças em relação ao tempo de uso da luz artificial entre os sistemas. Utilizando respectivamente os controles liga-desliga e dimerizável, foram calculadas reduções máximas de 42% e 55% no uso

do sistema artificial em relação ao ambiente não zoneado (com este mesmo tipo de controle).

Os valores de redução das horas de uso da iluminação artificial, quando o modelo é zoneado, podem ser relacionados às características das zonas de iluminação natural – área, magnitude e área das zonas. O ponto mais importante nessa relação (entre as características das zonas e as reduções do acionamento da luz artificial) é a diferença entre as iluminâncias máxima e mínima produzidas pela luz natural, ou seja, as magnitudes das zonas de iluminação natural. De modo geral, quanto maior a diferença entre as magnitudes das zonas de um ambiente, maior a redução do uso da iluminação artificial quando o seu controle é dividido em circuitos de acordo com a o zoneamento da iluminação natural.

Em geral, nota-se que o acionamento do sistema de iluminação artificial da zona mais escura do ambiente zoneado é similar ao acionamento da iluminação artificial do modelo não zoneado. No entanto, observa-se no modelo zoneado que, para as outras zonas - mais iluminadas, o sistema permanece por muito menos tempo ativado. A diferença entre as horas (anual) de funcionamento do sistema artificial das zonas mais escuras e mais iluminadas chegam a 1566h, para o sistema liga-desliga e de 1271h, para o dimerizável.

Além disso, as reduções de uso do sistema de iluminação artificial são ainda mais elevadas se a área da zona mais escura apresentar uma área reduzida, pois, apesar da alta demanda de acionamento do sistema de iluminação artificial, a influência dessa zona no uso final da iluminação artificial mostra-se pequena (em função da área reduzida).

A partir dos resultados, nota-se que modelos que apresentam um maior número de zonas no ambiente tendem a obter altas reduções de uso da iluminação artificial. No entanto, isso não se dá necessariamente devido a grande quantidade de zonas, mas sim porque esses ambientes tendem a apresentar zonas de iluminâncias díspares (ou seja, uma zona muito iluminada e outra escura).

Uma discussão interessante a ser feita está relacionada à melhor estratégia de eficiência energética para sistemas de iluminação artificial: dividir o controle do sistema em zonas ou substituir os

sistemas de controle por aqueles mais sofisticados (por exemplo, trocar o sistema de dois passos por um dimerizável). A partir dos resultados deste trabalho, conclui-se que a divisão de circuitos é válida principalmente em ambientes onde a luz natural admitida não está distribuída uniformemente bem como em ambientes com grandes diferenças entre as iluminâncias máxima e mínima produzidas pela luz natural, de modo que cada zona seja acionada de forma bastante singular.

5.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considera-se que o objetivo de analisar a influência do zoneamento da iluminação natural no controle da iluminação artificial foi alcançado a partir de simulação computacional. Espera-se que este trabalho possa contribuir com informações acerca da importância do zoneamento da iluminação natural, de modo a auxiliar projetistas a tomar decisões quanto aos sistemas de iluminação natural e artificial e a estratégia de controle de iluminação artificial na concepção de projetos de iluminação integrados (iluminação natural e artificial) energeticamente eficientes.

Seguem algumas limitações encontradas na realização do trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

5.3.1 Limitações do trabalho

Algumas limitações foram encontradas durante o desenvolvimento deste trabalho.

A primeira limitação se refere ao tamanho da amostra, considerando as variáveis geométricas: geometria do ambiente, Fator Solar, sistemas de aberturas (apenas iluminação lateral foi considerada). Esta limitação está relacionada com a impossibilidade de avaliação de um maior número de modelos, pois a simulação da iluminação natural demanda um longo tempo.

Outras limitações apresentam particularidades importantes no que diz respeito ao resultado final. O estudo de protetores solares nos

modelos arquitetônicos e a avaliação para outra zona bioclimática, diferente da cidade de Florianópolis, podem mudar algumas das conclusões encontradas neste trabalho.

5.3.2 Sugestões para trabalhos futuros:

A partir dos resultados obtidos e das limitações encontradas, sugere-se para trabalhos futuros:

- Estudo mais aprofundado do impacto das variações geométricas no zoneamento da iluminação natural e no controle do sistema de iluminação artificial, alterando profundidade, largura e altura, além de variações nos sistemas de iluminação natural (quantidade, tipo e posições das aberturas);

- Implantar as estratégias de controle de iluminação natural nos modelos;

- Avaliar a influência do zoneamento da iluminação natural na redução do uso da iluminação artificial com a existência de projetos luminotécnicos variados – com iluminação geral e de tarefa;

- Avaliar outras estratégias de controle de iluminação artificial, como o sistema de passos múltiplos.

- Fazer uma análise custo/benefício das estratégias de controle da iluminação artificial;

- Avaliar a influência do zoneamento da iluminação natural no consumo total de energia nas edificações.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, C. N. D. **Desempenho térmico de Edificações e Simulação Computacional no Contexto da Arquitetura Bioclimática: Estudo de Caso na Região de Brasília.** Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília. 1997.

_____. Iluminação Natural e Eficiência Energética – Parte I. Estratégias de projeto para uma arquitetura sustentável. **Cadernos Eletrônicos** da Pós – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de Brasília, 2002.

ARIES, M.B.C., NEWSHAM, G.R. Effect of daylight saving time on lighting energy use: a literature review. **Energy Policy**, v.36, p.1858–1866, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR-5413: Iluminância de interiores.** Rio de Janeiro. 1992. 33p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR15215-3/2004.** Iluminação natural – Parte 3: Procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASHRAE/IESNA 90.1 Standard - 2004 - **Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings.** American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc. 2004.

BAKER, N.; FANCHIOTTI, A., STEEMERS, K. **Daylighting in architecture – a European reference book.** Commission of the European Communities, Directorate –General XII for Science Research and Development, London: James & James Ltd. 1993.

BAKER, N. STEEMERS, K. **Daylight design of buildings.** James & James. London: 2002.

BODART, M.; DE HERDE, A. Global energy savings in offices buildings by the use of daylighting. **Energy and Buildings**, v. 34, n. 5, p. 421-429, 2002.

BOURGEOIS, D.; REINHART, C.; MACDONALD, I. Adding advanced behavioural model in whole building energy simulation: A study on the total energy impact of manual and automated lighting control. **Energy and Buildings**, v. 38, n. 7, p. 814-823, 2006.

BOGO, A. J.; PEREIRA, F. O. R.; CLARO, A. Método para caracterização do comportamento luminoso de aberturas com elementos de controle solar. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n. 3, p. 109-124, 2009.

BOYCE, P. R.; VEITCH, J. A.; NEWSHAM, G. R.; JONES, C. C.; HEERWAGEN, J.; MYER M. Lighting quality and office work: Two field simulation experiments. **Lighting Research and Technology**, v.38, n. 3, p. 191-223, 2006.

BRASIL. Lei n. 10.295, de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Lex: Diário Oficial da União, Brasília, 2001a.

_____. Decreto n. 4.059, de 19 de dezembro de 2001. Regulamenta Lei no 10.295, de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. Lex: Diário Oficial da União, Brasília, 2001b.

_____. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Portaria número 163 de 08 de junho de 2009. **Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos**. Brasília, DF, 2009a.

_____. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Portaria número 185 de 22 de junho de 2009. **Regulamento de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos**. Brasília, DF, 2009b.

BÜLOW-HÜBE, H. **Daylight in glazed office buildings: a comparative study of daylight availability, luminance and illuminance distribution for an office room with three different glass areas**, Report EBD-R—08/17, Lund University, Department of Architecture and Built

Environment, Division of Energy and Building Design, Lund (Sweden), 2008.

CABÚS, R. Troplux: um sotaque tropical na simulação da luz natural em edificações. Encontro Nacional do Conforto no Ambiente Construído. **Anais...** Maceió: 2005. CD-ROM 1990-2005.

CADDET. Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies. **Saving energy with efficient lighting in commercial building**. Maxi brochure 01. CADDET Energy Efficiency – Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies. The Netherlands. 22p., 1995.

CALIFORNIA ENERGY COMISSION; ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE; U.S DEPARTAMENT OF ENERGY. **Advanced lighting Guidelines**. New Building Institute, 2001.

CINTRA, M. S. **Arquitetura e luz natural: a influência da profundidade de ambientes em edificações residenciais**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

CLARO, Anderson. **Modelo Vetorial Esférico para Radiosidade aplicado à Iluminação Natural**. 1998. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

DIDONÉ, E. L. **A influência da luz natural na avaliação da eficiência energética de edifícios contemporâneos de escritórios em Florianópolis/SC**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

DIDONÉ, E. L.; PEREIRA, F. O. R. Simulação computacional integrada para a consideração da luz natural na avaliação do desempenho energético de edificações. **Ambiente Construído**, v.10, n.4, 2010.

DUBOIS, M.; BLOMSTERBERG, A. Energy saving potencial and strategies for electric lighting in future North European, low energy

office buildings: A literature review. **Energy and Buildings**, v.43, p. 2572-2582, 2011.

DOULOS, L. TSANGRASSOULIS, A.; TOPALIS, F. Quantifying energy savings in daylight responsive systems: The role of dimming electronic ballasts. **Energy and Buildings**, v.40, p.36-50, 2008.

ENERGYPLUS. **EnergyPlus Engineering Reference**. The Reference to EnergyPlus Calculations. EnergyPlus, 2010.

FARLEY, K.M.J.; VEITCH, J.A. A Room with a View: A Review of the Effects of Windows on Work and Well-Being. **National Research Council Canada**. IRC-RR-136, 2001.

FELDMAN, D. C.; GONÇALVES, A. C. M. Controles de iluminação: Compatibilidade entre os diversos produtos que envolvem o controle da iluminação artificial. **Cadernos do PROARQ/UFRJ**. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro – ano 1, nº1, 1997. Rio de Janeiro: UFRJ/PROARQ, 1997.

FERREIRA, C. C.; SOUZA, R. V. G. Investigação sobre o potencial de economia de energia da iluminação natural. In: X Encontro Nacional e VII Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, Natal, 2009, **Anais...** ANTAC CD-ROM 1990-2009.

FONSECA, R. W. **A influência das reflexões internas na iluminação natural do ambiente construído**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

GALASIU, A. D.; ATIF, M. R.; MACDONALD, R. A. Impact of window blinds on daylight-linked dimming and automatic on/off lighting controls. **Solar Energy**, v. 76, n. 5, 2004, p. 523-544, 2004.

GALASIU, A. D., VEITCH, J.A. Occupant preferences and satisfaction with the luminous environment and control systems in daylit offices: a literature review. **Energy and Buildings**, v. 38, p. 728-742, 2006.

GALASIU, A. D.; NEWSHAM, G. R.; SUVAGAU, C. SANDER, D. M. Energy saving lighting control systems for open-plan offices: a field study. **Leukos**, v. 4, n. 1, p. 7-29, 2007.

GHISI, Enedir; TINKER, John; IBRAHIM, Siti H Área de janela e dimensões para iluminação natural e eficiência energética: literatura versus simulação computacional. In.: **Ambiente Construído**, v.5, n.4, p.81-93. Associação de Tecnologia do Ambiente Construído; INSS 1415-8876. Porto Alegre: 2005.

HOPKINSON, R. G.; PETHERBRIDGE, P.; LONGMORE, J. **Iluminação Natural**. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa. 1975.

HUNT, D.R.G. The use of artificial lighting in relation to daylight levels and occupancy, **Building and Environmental**, v.14 p. 21 – 33, 1979.

HUNT, D.R.G. Predicting artificial lighting use – a method based upon observed patterns of behaviour. **Lighting Research and Technology**, v.12, n. 1, p.7-14, 1980.

HUSIN, S. F. S.; HARITH, Z. Y. H. The performance of daylight through various type of fenestration in residential building. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v.36, p. 196-203, 2012.

IBRAHIM, N. AHMED, A. Daylight Availability in An Office Interior Due to Various Fenestration Options, Greece: **2nd PALENC Conference and 218th AIC Conference on Building Low Energy Cooling and Advanced Ventilation Technologies in The 21st Century**. 2007.

IESNA **Lighting Handbook (9th edition)**. (2000). New York, NY: Illuminating Engineering Society of North America, ISBN 0-87995-150-8.

KREMER, A. **A influência de elementos de obstrução solar no nível e na distribuição interna da iluminação natural**: Estudo de caso em protótipo escolar em Florianópolis. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

LAKATOS, E. M; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. São Paulo: Atlas, 1991.

LAM, W.M.C. **Sunlighting – As formgiver for architecture**. New York. Van Nostrend Reinhold Company. 1986.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na arquitetura**. 2ª edição. Editora Pro Livros. São Paulo, 2004.

LAMBERTS, R.; TRIANA, M. A. **Levantamento do estado da arte: energia**. Projeto Tecnologias para construção habitacional mais sustentável. São Paulo, 2007.

LI, D.H.W., LAM, T.N.T., WONG, S.L., Lighting and energy performance for an office using high frequency dimming controls. **Energy Conversion and Management**, v.47, p.1133–1145, 2006.

LI, D. H.W.; TSANG, E. K. W. A. An analysis of daylighting performance for office buildings in Hong Kong. **Building and Environment**, v.43 p. 1446-1458, 2008.

LOE, D. **Energy efficiency in lighting – an overview**. Disponível em www.cibse.org/pdfs/energylight.pdf. 2003.

LOPES, A. C. S. Proposta de Adequação do Sistema Artificial Suplementar ao Sistema de Iluminação Natural em Sala de Aula Padrão. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

LOVE, J. A. Manual switching patterns observed in private offices. **Lighting Research and Technology**, v. 30, n.1, p.45-50, 1998.

LYTRA, Viktoria .The potential daylight penetration in deep plan offices **PLEA 2011** - 27th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Louvain-la-Neuve, Belgium, 13-15 July 2011.

MARDALJEVIC, J. Spatial-temporal dynamics of solar shading for a parametrically defined roof system. **Energy and Buildings**. v. 36, p. 815-823, 2004.

MARDALJEVIC, J. HESCHONG L; LEE, E. Daylight metrics and energy savings. **Lighting Research and Technology**, v.41 n.3, p.261-283, 2009.

MILLS, E. **Windows as luminaires**. In: IAEE newsletter 3-4/95. 2005. Disponível em: <http://www.iaeel.org/iaeel/news/1995/trefyra1995/DesAppl_a_4_95.html>. Acesso em: 20/06/2011.

MILLS, E.; BORG, N. Trends in Recommended Lighting Levels: An International Comparison. **Journal of the Illuminating Engineering Society of North America**, v.28, n.1, p.155-163, 1999.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. Balanço Energético Brasileiro. Rio de Janeiro: 2010.

NABIL, A.; MARDALJEVIC, J. Useful daylight illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings. **Lighting Research and Technology**, v.37, n.1, p.41-59, 2005.

NABIL, A.; MARDALJEVIC, J. Useful daylight illuminances: A replacement for daylight factors. **Energy and Buildings**, v.38, n.7, p. 905–913, 2006.

NEWSHAM, G.R.; AIRES, M.; MANCINI, S.; FAYE, G. Individual control of electric lighting in a daylight space. **Lighting Research and Technology**, v.40, n.1, p. 25-41, 2008.

NEWSHAM, G.R.; MAHDAVI A.; BEAUSOLEIL-MORRISON, I. Lightswitch: a stochastic model for predicting office lighting energy consumption. **Proceedings** of Right Light Three, the Third European Conference on Energy Efficient Lighting, Newcastle-upon-Tyne, pp. 60–66, 1995.

NEWSHAM, G. R. VEITCH, J. A.; ARSENAULT, C.; DUVAL, C. Effect of dimming control on office worker satisfaction and performance. In **Proceedings** of the IESNA Annual Conference, Tampa, FL. Nova Iorque: IESNA, 2004, p.19-41.

PEREIRA, D. C. L.; MUELLER, C. M. **Iluminação e Sustentabilidade**. Revista Lume Arquitetura, Ed. 26. p.28-35, 2007.

PEREZ, R.; PIERRE, I.; SEALS, R.; MICHALSKY, J.; STEWART, R. Modeling daylight availability and irradiance components from direct and global irradiance. **Solar Energy**, v. 44, n. 5, p. 271-289, 1990.

PIGG, S.; EILERS, M.; REED J. Behavioral Aspects of Lighting and Occupancy Sensors in Private Offices: A case study of a University Office Building. **Proceedings** of the 1996 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings 8, p.8.161-8.171, 1996.

PROCEL/ELETOBRAS EDUCAÇÃO. **Conservação de Energia. Eficiência Energética de Equipamentos e Instalações.** 3ª Edição. Universidade Federal de Itajubá. FUPAI. Itajubá, 2006.

RAMOS, G. **Análise da iluminação natural calculada por meio do programa Energyplus.** Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

REINHART, C. F. Effects of interior design on the daylight availability in open plan offices. **Conference Proceedings of the ACEEE Summer Study on Energy Efficient Buildings**, Pacific Grove, CA. USA, 2002, pp. 1-12.

REINHART, C. F. Lightswitch-2002: a model for manual and automated control of electric lighting and blinds. **Solar Energy**, v. 77, n.1, p. 15-28, 2004.

REINHART, C.F A simulation-based review of the ubiquitous window-head-height to daylit zone depth rule-of-thumb. In: Building Simulations Conference 9., Montreal, Canada, 2005. **Proceedings...**Montreal: IBPSA.

REINHART, C. F. **Tutorial on the use of Daysim Simulations for Sustainable Design.** Institute for Research Council Canada, Ottawa, 2010.

REINHART, C. F.; BRETON, P-F. Experimental validation of 3DS Max Design and Daysim 3.0. **LEUKOS**, v.6, n.1, 2009.

REINHART, C. F.; FITZ, A. Finding from a survey on the current use of daylight simulations in building design. **Energy and Buildings**, v.38, n.7, p. 824-835, 2006.

REINHART, C. F.; MARDALJEVIC, J.; ROGERS Z. Dynamic daylight performance metrics for sustainable building design. **Leukos**, v.3, n.1, p.7-31, 2006.

REINHART, C. F.; VOSS, K. Monitoring Manual Control of Lighting and Blinds. **International Journal Lighting Research and Technology**, v.35, n.3, p. 243-260, 2003.

REINHART, C. F.; WALKENHORST, O. Validation of Dynamic RADIANCEbased daylight simulations for a test office with external blinds. **Energy and Buildings**, v. 33, n.7, p. 683-697, 2001.

REINHART, C. F.; WIENOLD, J. The daylighting dashboard – A simulation-based design analysis for daylit spaces. **Building and Environment** v.46, p. 386-396, 2011.

ROBBINS, C. L. **Daylighting, design and analysis**. Van Nostrand Reinhold Co, New York, 1986.

RODRIGUES, P. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. **Manual de Iluminação Eficiente** - ELETROBRÁS, PROCEL. 1ª. ed. Julho 2002.

ROGERS Z. **Daylighting Metric Development Using Daylight Autonomy Calculations In the Sensor Placement Optimization Tool**. Boulder, Colorado, USA: Architectural Energy Corporation, <http://www.archenergy.com/SPOT/download.html>. 2006.

ROISIN, B.; BODART, M.; DENEYER, A.; D'HERDT, P. Lighting energy savings in offices using different control systems and their real consumption. **Energy and Buildings**, v.40, p.514-523, 2008.

SABRY, H. M. K.; FAGGAL, A. A. E. Integration of electric lighting system in a daylit-building. **PLEA2005** 22 Conference on Passive and Low Energy Architecture. Beirut, Lebanon. 2005.

SANTANA, M. V. **Influência de parâmetros construtivos no consumo de energia de edifícios de escritório localizados em Florianópolis – SC**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

SEAI, SUSTAINABLE ENERGY AUTHORITY OF IRELAND. **Lighting Controls: a guide to energy efficient and cost effective lighting**. 6p. 2002.

SOUZA, M. B. **Potencialidade de aproveitamento da luz natural através da utilização de sistemas automáticos de controle para economia de energia elétrica**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-

Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

STEFFY, G. R.. Architectural lighting design. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1990, 202p.

TSANGRASSOULIS, A.; SYNNEFA, A.; JACOBS, A.; SALOMON, J.; FONTOYNONT, M.; POHL, W; ZIMMERMANN, A. **SynthLight handbook**. London: Low Energy Architecture Research Unit, LEARN – London Metropolitan University, 2004. Disponível na web em <http://www.learn.londonmet.ac.uk/packages/synthlight/handbook/index.html>.

VIANNA, N. S.; GONÇALVES, J. C. S. **Iluminação e Arquitetura**. São Paulo: Virtus s/c Ltda, 2001. 378p.

YANG, I.; NAM, E. Economic analysis of the daylight-linked lighting control system in office buildings. **Solar Energy**, v. 84, p. 1513-1525, 2010.

YUN, G.Y.; KIM, H.; KIM, J. T. Effects of occupancy and lighting use patterns on lighting energy consumption. **Energy and Buildings**, v. 46, p.152-158, 2012.

7 APÊNDICE

7.1 RESULTADOS DETALHADOS DAS HORAS DE ACIONAMENTO DE CADA ZONA DE ILUMINAÇÃO NATURAL

Nessas tabelas, estão indicadas as horas de funcionamento da iluminação artificial de cada zona determinada no ambiente, juntamente com as respectivas proporções de áreas das zonas com relação à área total, dadas em porcentagens. A figura 7.1 mostra a correlação entre os dados apresentados nas tabelas detalhadas e as zonas de iluminação do ambiente X.

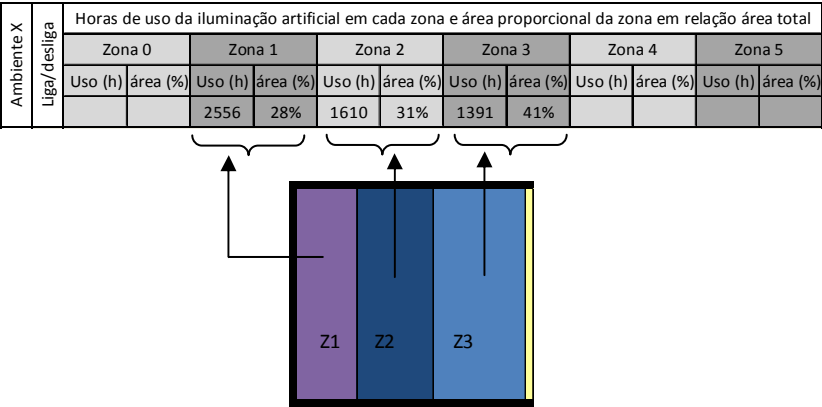


Figura 7.1 - Exemplo de tabela com dados detalhados de horas de uso da iluminação artificial para cada zona.

* são preenchidos os campos (de tempo de uso da iluminação artificial e proporção de área do ambiente) correspondentes às zonas determinadas no ambiente.

Tabela 31 - Resultados detalhados das horas de acionamento da iluminação artificial (anual) dos casos zoneados do modelo M1 com PD2,70m orientados ao Norte e Sul.

CASOS ARQUITETÔNICOS			DADOS DETALHADOS DE ACIONAMENTO DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL										DADOS FINAIS DE USO DA LUZ ARTIFICIAL (h)			
orientação	J	PAF	HORAS DE USO PARA CADA ZONA (h) E PROPORÇÃO DE ÁREA DA ZONA (%)												Situação do Ambiente	
			SISTEMA DE CONTROLE AUTOMÁTICO LIGA DESLIGA													
			ZONA 0		ZONA 1		ZONA 2		ZONA 3		ZONA 4		ZONA 5		Zoneado	Não zoneado
horas	área	horas	área	horas	área	horas	área	horas	área	horas	área					
NORTE	Adjac.	20					1489	19%	1085	64%	783	17%	0		1109	1476
		40							996	58%	713	14%	679	28%	867	996
		70							1015	45%	761	20%	679	34%	848	989
	Oposta	20							987	100%					987	987
		40							833	72%			679	28%	790	833
		70							833	53%	713	19%	718	28%	778	833
	Única	20					2373	53%	1469	47%					1949	2373
		40					1696	34%	1113	38%			712	28%	1201	1696
		70							1178	66%			679	34%	1007	1178
	J	PAF	SISTEMA DE CONTROLE AUTOMÁTICO DIMERIZÁVEL												Zoneado	Não zoneado
	Adjac.	20					1051	19%	661	64%	327	17%			677	1039
		40							559	58%	312	14%	280	28%	445	564
		70							611	45%	421	20%	361	34%	486	588
	Oposta	20							485	100%					485	485
		40							366	72%			280	28%	342	366
		70							343	53%	302	19%	303	28%	324	343
	Única	20					1922	53%	797	47%					1395	1922
		40					1036	34%	575	38%			318	28%	661	1036
		70							608	66%			287	34%	498	608

SISTEMA DE CONTROLE AUTOMÁTICO LIGA DESLIGA																Zoneado	Não zoneado
SUL	J	PAF															
	Adjac.	20					2145	28%	1200	70%					1447	2206	
		40							1355	66%	830	34%			1175	1355	
		70							1033	56%	738	22%	717	22%	899	1033	
	Oposta	20							986	100%					986	986	
		40							834	72%	679	28%			790	834	
		70							830	28%	668	72%			713	830	
	Única	20			2463	34%	2329	31%	1227	34%					1996	2462	
		40					2014	47%	1050	31%	682	22%			1421	2014	
		70					1403	28%	1275	50%			668	22%	1178	1403	
	J	PAF	SISTEMA DE CONTROLE AUTOMÁTICO DIMERIZÁVEL												Zoneado	Não zoneado	
	Adjac.	20					1366	28%	568	70%					784	1426	
		40							749	66%	332	34%			606	749	
		70							480	56%	311	22%	290	22%	401	482	
	Oposta	20							485	100%					485	485	
		40							371	72%	282	28%			346	371	
		70							347	28%	267	72%			289	347	
	Única	20			2118	34%	1818	31%	717	34%					1542	2124	
		40					1392	47%	538	31%	275	22%			881	1394	
70						855	28%	708	50%			256	22%	650	855		

Tabela 32 - Resultados detalhados das horas de acionamento da iluminação artificial dos casos zoneados do modelo M1 com PD2,70m orientados ao Leste e Oeste.

CASOS ARQUITETÔNICOS			DADOS DETALHADOS DE ACIONAMENTO DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL												DADOS FINAIS DE USO DA LUZ ARTIFICIAL (h)	
			HORAS DE USO PARA CADA ZONA (h) E PROPORÇÃO DE ÁREA DA ZONA (%)													
orientação	J	PAF	SISTEMA DE CONTROLE AUTOMÁTICO LIGA DESLIGA												Situação do Ambiente	
			ZONA 0		ZONA 1		ZONA 2		ZONA 3		ZONA 4		ZONA 5			
			horas	área	horas	área	horas	área	horas	área	horas	área	horas	área	Zoneado	Não zoneado
LESTE	Adjac.	20					1924	25%	1208	75%					1387	1924
		40							1094	66%	713	13%	692	22%	958	1094
		70							987	52%	833	20%	669	28%	866	987
	Oposta	20							951	100%					951	951
		40							793	72%	679	28%			761	793
		70							832	53%	739	25%	717	22%	783	832
	Única	20			2172	28%	1981	38%	633	34%					1571	2172
		40					1487	34%	986	44%			679	22%	1091	1488
		70					1155	22%	982	50%			679	28%	935	1155
	J	PAF	SISTEMA DE CONTROLE AUTOMÁTICO DIMERIZÁVEL												Zoneado	Não zoneado
	Adjac.	20					1431	25%	817	75%					970	1431
		40							697	66%	309	13%	281	22%	557	702
		70							525	52%	369	20%	269	28%	421	539
	Oposta	20							443	100%					443	443
		40							349	72%	281	28%			330	349
		70							361	53%	316	25%	292	22%	335	361
	Única	20			1829	28%	1625	38%	633	34%					1341	1830
		40					1052	34%	562	44%			277	22%	668	1065
		70					735	22%	578	50%			275	28%	527	735

			SISTEMA DE CONTROLE AUTOMÁTICO LIGA DESLIGA												Zoneado		Não zoneado	
OESTE	Adjac.	20					2131	17%	1389	55%	966	13%	832	17%	1389	1931		
		40							1165	47%			780	53%	960	1165		
		70							1058	39%	839	20%	831	41%	921	1107		
	Oposta	20							949	100%					949	949		
		40							779	72%			679	28%	751	779		
		70							831	53%	738	25%	717	22%	783	831		
	Única	20			2556	28%	1610	31%	1391	41%					1787	2556		
		40					1971	34%	1363	44%			679	22%	1422	1971		
		70							1277	72%			679	28%	1109	1355		
	J	PAF	SISTEMA DE CONTROLE AUTOMÁTICO DIMERIZÁVEL												Zoneado	Não zoneado		
	Adjac.	20					1212	17%	609	55%	417	13%	348	17%	653	1117		
		40							467	47%			296	53%	376	464		
		70							413	39%	329	20%	316	41%	357	458		
	Oposta	20							447	100%					447	447		
		40							320	72%			266	28%	305	322		
		70							439	53%	386	25%	369	22%	410	440		
	Única	20			2045	28%	1690	31%	690	41%					1384	2050		
		40					1102	34%	615	44%			261	22%	705	1105		
		70							603	72%			255	28%	505	634		

Caracterização do zoneamento da iluminação natural e sua influência no controle da iluminação artificial

Tabela 33 - Resultados detalhados das horas de acionamento da iluminação artificial (anual) dos casos zoneados do modelo M2 com PD2,70m orientados ao Norte e Sul.

CASOS ARQUITETÔNICOS			DADOS DETALHADOS DE ACIONAMENTO DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL												DADOS FINAIS DE USO	
			HORAS DE USO PARA CADA ZONA (h) E PROPORÇÃO DE ÁREA DA ZONA (%)												DA LUZ ARTIFICIAL (h)	
orientação	J	PAF	SISTEMA DE CONTROLE AUTOMÁTICO LIGA DESLIGA												Situação do Ambiente	
			ZONA 0		ZONA 1		ZONA 2		ZONA 3		ZONA 4		ZONA 5			
			horas	área	horas	área	horas	área	horas	área	horas	área	horas	área	Zoneado	Não zoneado
NORTE	Adjac.	20					1937	40%	1876	60%					1900	1937
		40					1765	32%	1022	54%			679	14%	1212	1839
		70					1630	23%	1061	57%			738	20%	1124	1630
	Oposta	20			2465	28%	2352	34%	1251	38%					1970	2493
		40					2282	50%	1261	39%			683	11%	1711	2282
		70					2094	44%	1154	39%			679	17%	1482	2094
	Única	20	2870	45%	2726	19%	2351	16%	1256	20%					2434	2871
		40	2747	30%	2697	19%	2338	22%	1009	19%			679	11%	2096	2751
		70			2641	39%	2280	22%	1177	25%			679	14%	1920	2641
	J	PAF	SISTEMA DE CONTROLE AUTOMÁTICO DIMERIZÁVEL												Zoneado	Não zoneado
	Adjac.	20					1550	40%	1490	60%					1514	1554
		40					1375	32%	626	54%			282	14%	818	1439
		70					1214	23%	636	57%			319	20%	703	1214
	Oposta	20			2123	28%	1838	34%	656	38%					1475	2164
		40					1755	50%	677	39%			271	11%	1172	1759
		70					1447	44%	595	39%			287	17%	914	1447
	Única	20	2867	45%	2489	19%	1871	16%	630	20%					2186	2868
		40	2573	30%	2458	19%	1839	22%	531	19%			270	11%	1756	2578
		70			2641	39%	1727	22%	616	25%			271	14%	1602	2377

	J	PAF	SISTEMA DE CONTROLE AUTOMÁTICO LIGA DESLIGA												Zoneado	Não zoneado
SUL	Adjac.	20					2414	44%	1289	56%					1781	2414
		40					2354	30%	1479	59%	679	11%			1658	2354
		70					2253	14%	1342	62%			679	24%	1309	2253
	Oposta	20			2465	28%	2346	24%	1301	48%					2007	2493
		40					2296	50%	1286	39%	679	11%			1734	2296
		70					2004	44%	1253	42%	782	14%			1519	2004
	Única	20	2878	55%	2647	16%	2280	16%	1102	14%					2499	2878
		40	2814	36%	2647	19%	2254	19%	1264	16%	679	11%			2202	2814
		70			2673	45%	2354	22%	1275	19%	679	14%			2061	2673
	J	PAF	SISTEMA DE CONTROLE AUTOMÁTICO DIMERIZÁVEL												Zoneado	Não zoneado
	Adjac.	20					1859	44%	606	56%					1154	1863
		40					1725	30%	787	59%	260	11%			1015	1731
		70					1533	14%	663	62%			262	24%	688	1545
	Oposta	20			2123	28%	1871	24%	683	48%					1511	2165
		40					1751	50%	693	39%	274	11%			1182	1760
		70					1392	44%	638	42%	351	14%			930	1394
	Única	20	2878	55%	2404	16%	1737	16%	569	14%					2301	2878
		40	2696	36%	2423	19%	1720	19%	671	16%	272	11%			1880	2696
		70			2472	45%	1801	22%	702	19%	275	14%			1684	2475

Tabela 34 - Resultados detalhados de acionamento da luz artificial dos casos zoneados M2 com PD2,70m orientados a Leste e Oeste.

CASOS ARQUITETÔNICOS			DADOS DETALHADOS DE ACIONAMENTO DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL HORAS DE USO PARA CADA ZONA (h) E PROPORÇÃO DE ÁREA DA ZONA (%)												DADOS FINAIS DE USO DA LUZ ARTIFICIAL (h)	
orientação	J	PAF	SISTEMA DE CONTROLE AUTOMÁTICO LIGA DESLIGA												Situação do Ambiente	
			ZONA 0		ZONA 1		ZONA 2		ZONA 3		ZONA 4		ZONA 5		Zoneado	Não zoneado
			horas	área	horas	área	horas	área	horas	área	horas	área	horas	área		
LESTE	Adjac.	20			2210	34%	1024	67%					668	11%	1318	2254
		40					2184	38%	1212	51%			714	23%	1524	2203
		70					1568	23%	1427	54%					1292	2123
	Oposta	20			2369	25%	2222	38%	1139	37%			679	11%	1859	2332
		40					2203	56%	1087	33%			761	14%	1670	2203
		70					1698	44%	979	42%					1263	1789
	Única	20	2799	52%	2339	16%	1984	16%	1118	17%			679	11%	2311	2799
		40	2495	33%	2398	19%	2052	22%	1016	16%			679	11%	1950	2495
		70			2378	42%	1975	22%	1047	22%			679	14%	1760	2378
	J	PAF	SISTEMA DE CONTROLE AUTOMÁTICO DIMERIZÁVEL												Zoneado	Não zoneado
	Adjac.	20			1743	34%	601	67%					268	11%	836	1836
		40					1710	38%	737	51%			303	23%	1058	1740
		70					1568	23%	919	54%					922	1613
	Oposta	20			1989	25%	1989	38%	600	37%			273	11%	1377	1973
		40					1651	56%	542	33%			347	14%	1135	1651
		70					1152	44%	489	42%					760	1232
	Única	20	2789	52%	2141	16%	1594	16%	671	17%			276	11%	2137	2789
		40	2373	33%	2218	19%	1678	22%	559	16%			276	11%	1679	2373
		70			2180	42%	1569	22%	613	22%			276	14%	1436	2181
OESTE	J	PAF	SISTEMA DE CONTROLE AUTOMÁTICO LIGA DESLIGA												Zoneado	Não zoneado
	Adjac.	20					2328	33%	1566	67%					1816	2328
		40					2224	26%	1519	42%	955	18%	679	14%	1481	2224
		70			2143	20%	1319	23%	1553	27%	840	17%	717	14%	1375	2143
	Oposta	20			2315	25%	2222	38%	1139	38%			679	11%	1846	2332
		40					2184	53%	1075	36%			679	11%	1623	2184
		70					1847	44%	1132	42%			679	14%	1382	1847
	Única	20	2884	48%	2718	19%	2302	16%	1190	17%			679	11%	2471	2884
		40	2814	30%	2751	22%	2373	22%	1251	16%			679	11%	2226	2814
		70			2703	39%	2373	25%	1258	22%			679	14%	2020	2703
	J	PAF	SISTEMA DE CONTROLE AUTOMÁTICO DIMERIZÁVEL												Zoneado	Não zoneado
	Adjac.	20					1699	33%	789	67%					1088	1702
		40					1520	26%	685	42%	419	18%	264	14%	793	1528
		70			1320	20%	590	23%	743	27%	342	17%	288	14%	688	1326
	Oposta	20			1957	25%	1743	38%	600	38%			258	11%	1369	1973
		40					1632	53%	508	36%			256	14%	1078	1638
		70					1271	44%	558	42%					827	1272
	Única	20	2859	48%	2403	19%	1611	16%	502	17%			259	11%	2174	2861
		40	2620	30%	2496	22%	1728	22%	526	16%			257	14%	1812	2624
		70			2418	39%	1764	25%	554	22%					1543	2418

Tabela 35 - Resultados detalhados de acionamento da luz artificial dos casos zoneados M3 com PD2,70m orientados ao Norte e ao Sul.

CASOS ARQUITETÔNICOS			DADOS DETALHADOS DE ACIONAMENTO DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL HORAS DE USO PARA CADA ZONA (h) E PROPORÇÃO DE ÁREA DA ZONA (%)												DADOS FINAIS DE USO DA LUZ ARTIFICIAL (h)	
orientação	J	PAF	SISTEMA DE CONTROLE AUTOMÁTICO LIGA DESLIGA												Situação do Ambiente	
			ZONA 0		ZONA 1		ZONA 2		ZONA 3		ZONA 4		ZONA 5			
			horas	área	horas	área	horas	área	horas	área	horas	área	horas	área	Zoneado	Não zoneado
NORTE	Adjac.	20					2083	33%	1340	67%					1584	2083
		40							1180	66%			714	34%	1020	1193
		70							1023	66%			739	34%	925	1023
	Oposta	20							1022	100%					1022	1022
		40					821	59%	792	19%	679	22%			784	821
		70							831	25%	713	47%	681	28%	733	792
	Única	20							2404	53%	0	0%	1434	47%	1949	2404
		40							1675	28%	1358	44%	680	28%	1256	1675
		70							1113	53%	748	19%	679	28%	922	1113
	J	PAF	SISTEMA DE CONTROLE AUTOMÁTICO DIMERIZÁVEL												Zoneado	Não zoneado
	Adjac.	20					1577	33%	869	67%					1102	1591
		40							699	66%			314	34%	567	713
		70							550	66%			316	34%	469	550
	Oposta	20							501	100%					501	501
		40					367	59%	328	19%	267	22%			338	367
		70							358	25%	304	47%	277	28%	310	335
	Única	20							1902	53%	0	0%	784	47%	1378	1902
		40							1011	28%	743	44%	292	28%	691	1011
		70							543	53%	326	19%	271	28%	426	543
SUL	Adjac.	20					2373	44%	1435	56%					1845	2373
		40					1730	23%	1193	55%	668	22%			1204	1694
		70					1390	20%	1198	66%			668	22%	1213	1390
	Oposta	20							1020	100%					1020	1020
		40							834	50%	725	50%			776	834
		70							792	20%	761	80%			761	792
	Única	20			2403	34%	2293	31%	1284	34%					1984	2442
		40					1801	47%	1141	31%	679	22%			1349	1801
		70							1285	72%			679	28%	1114	1285
	J	PAF	SISTEMA DE CONTROLE AUTOMÁTICO DIMERIZÁVEL												Zoneado	Não zoneado
	Adjac.	20					1910	44%	821	56%					1298	1926
		40					1102	23%	618	55%	260	22%			653	1095
		70					812	20%	595	66%			253	22%	609	812
	Oposta	20							501	100%					501	501
		40							372	50%	306	50%			338	373
		70							334	20%	323	80%			324	334
	Única	20			2026	34%	1784	31%	674	34%					1485	2078
		40					1197	47%	566	31%	272	22%			797	1199
		70							742	72%			273	28%	610	742

Tabela 36 - Resultados detalhados das horas de acionamento da iluminação artificial dos casos zoneados do modelo M3 com PD2,70m orientados a Leste e Oeste.

CASOS ARQUITETÔNICOS			DADOS DETALHADOS DE ACIONAMENTO DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL HORAS DE USO PARA CADA ZONA (h) E PROPORÇÃO DE ÁREA DA ZONA (%)												DADOS FINAIS DE USO DA LUZ ARTIFICIAL (h)	
orientação	J	PAF	SISTEMA DE CONTROLE AUTOMÁTICO LIGA DESLIGA												Situação do Ambiente	
			ZONA 0		ZONA 1		ZONA 2		ZONA 3		ZONA 4		ZONA 5		Zoneado	Não zoneado
			horas	área	horas	área	horas	área	horas	área	horas	área	horas	área		
LESTE	Adjac.	20					2055	45%	1101	55%					1534	2049
		40					1378	20%	1038	59%			682	22%	1027	1378
		70							973	64%			680	36%	867	973
	Oposta	20							950	100%					950	950
		40							792	78%			668	22%	765	833
		70							0	0%	832	72%	679	28%	789	832
	Única	20			2066	22%	2065	38%	1238	41%					1729	2067
		40					1355	34%	1181	44%			679	22%	1131	1355
		70							1027	72%			679	28%	929	1027
	J	PAF	SISTEMA DE CONTROLE AUTOMÁTICO DIMERIZÁVEL												Zoneado	Não zoneado
	Adjac.	20					1669	45%	693	55%					1135	1679
		40					916	20%	615	59%			274	22%	599	922
		70							532	64%			300	36%	449	534
	Oposta	20							441	100%					441	441
		40							342	78%			265	22%	325	348
		70									357	72%	268	28%	331	357
	Única	20			1723	22%	1690	38%	769	41%					1323	1724
		40					904	34%	764	44%			275	22%	705	907
		70							574	72%			275	28%	490	574
OESTE	J	PAF	SISTEMA DE CONTROLE AUTOMÁTICO LIGA DESLIGA												Zoneado	Não zoneado
	Adjac.	20					2387	36%	1728	64%					1965	2387
		40					1608	13%	1290	49%			738	38%	1118	1608
		70							1127	53%	830	19%	667	28%	942	1127
	Oposta	20					950	100%							950	950
		40									792	78%	679	22%	767	792
		70									831	72%	679	28%	788	831
	Única	20					2402	59%	1316	41%					1961	2442
		40					1772	34%	1329	44%			679	22%	1339	1772
		70							1200	28%			679	72%	825	1200
	J	PAF	SISTEMA DE CONTROLE AUTOMÁTICO DIMERIZÁVEL												Zoneado	Não zoneado
	Adjac.	20					1715	36%	844	64%					1157	1729
		40					782	13%	553	49%			287	38%	480	786
		70							448	53%	328	19%	243	28%	368	453
	Oposta	20					441	100%							441	441
		40									422	78%	340	22%	404	424
		70									340	72%	254	28%	316	341
	Única	20					1895	59%	633	41%					1382	1941
		40					981	34%	611	44%			257	22%	661	984
		70							525	28%			256	72%	331	527

Tabela 37 - Resultados detalhados das horas de acionamento da iluminação artificial (anual) dos casos zoneados do modelo M1 com PD3,50m orientados ao Norte e ao Sul.

5.0 ARQUITETÔNICOS			DADOS DETALHADOS DE ACIONAMENTO DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL												DADOS FINAIS DE USO DA LUZ ARTIFICIAL (h)	
			HORAS DE USO PARA CADA ZONA (h) E PROPORÇÃO DE ÁREA DA ZONA (%)													
orientação	J	PAF	SISTEMA DE CONTROLE AUTOMÁTICO LIGA DESLIGA												Situação do Ambiente	
			ZONA 0		ZONA 1		ZONA 2		ZONA 3		ZONA 4		ZONA 5			
			horas	área	horas	área	horas	área	horas	área	horas	área	horas	área	Zoneado	Não zoneado
NORTE	Adjac.	20							1281	100%					1458	1281
		40							944	53%	809	19%	793	28%	880	937
		70							834	34%	748	19%	679	47%	793	834
	Oposta	20							1286	100%					1242	1286
		40							936	72%			781	28%	816	936
		70							834	28%	739	31%	679	41%	746	834
	Única	20					2304	53%	1626	47%					2096	2304
		40							1319	72%			834	28%	1141	1359
		70							972	53%	739	19%	717	28%	804	972
	J	PAF	SISTEMA DE CONTROLE AUTOMÁTICO DIMERIZÁVEL												Zoneado	Não zoneado
	Adjac.	20							825	100%					1281	825
		40							508	53%	351	19%	346	28%	876	447
		70							380	34%	316	19%	285	47%	745	380
	Oposta	20							656	100%					1286	656
		40							453	72%			345	28%	892	453
		70							351	28%	320	31%	272	41%	741	352
	Única	20					1743	53%	891	47%					1986	1743
		40							706	72%			366	28%	1182	747
		70							430	53%	318	19%	300	28%	856	430
SUL	J	PAF	SISTEMA DE CONTROLE AUTOMÁTICO LIGA DESLIGA												Zoneado	Não zoneado
	Adjac.	20					1871	22%	1377	78%					1485	1936
		40							1280	100%					1280	1280
		70							1001	53%	679	25%	679	22%	850	1001
	Oposta	20							999	100%					999	999
		40							986	100%					986	986
		70					833	47%	679	53%					751	833
	Única	20			2402	22%	2373	50%	1832	28%					2227	2402
		40					1804	41%	1205	59%					1448	1804
		70							1236	66%	679	34%			1044	1236
	J	PAF	SISTEMA DE CONTROLE AUTOMÁTICO DIMERIZÁVEL												Zoneado	Não zoneado
	Adjac.	20					1045	22%	706	78%					780	1135
		40							629	100%					629	629
		70							447	53%	280	25%	257	22%	364	447
	Oposta	20							414	100%					414	414
		40							450	100%					450	450
		70					364	47%	286	53%					323	363
	Única	20			2026	22%	1886	50%	1164	28%					1714	2026
		40					1180	41%	653	59%					867	1180
		70							638	66%	275	34%			513	639

Tabela 38 - Resultados detalhados das horas de acionamento da iluminação artificial dos casos zoneados do modelo M1 com PD3,50m orientados a Leste e Oeste.

CASOS ARQUITETÔNICOS			DADOS DETALHADOS DE ACIONAMENTO DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL HORAS DE USO PARA CADA ZONA (h) E PROPORÇÃO DE ÁREA DA ZONA (%)												DADOS FINAIS DE USO DA LUZ ARTIFICIAL (h)	
orientação	J	PAF	ZONA 0		ZONA 1		ZONA 2		ZONA 3		ZONA 4		ZONA 5		Situação do Ambiente	
			ZONA 0		ZONA 1		ZONA 2		ZONA 3		ZONA 4		ZONA 5		Zoneado	Não zoneado
			horas	área	horas	área	horas	área	horas	área	horas	área	horas	área		
LESTE	Adjac.	20					1500	25%	1190	75%					1267	1500
		40							1040	80%	713	20%			973	1027
		70							834	59%			679	41%	771	834
	Oposta	20							1234	100%					1234	1234
		40							917	100%					917	917
		70							831	28%	738	44%	656	28%	741	831
	Única	20					2051	66%	1485	34%					1856	2048
		40					1149	34%	1062	66%					1091	1100
		70							904	72%			836	28%	885	1002
	J	PAF	SISTEMA DE CONTROLE AUTOMÁTICO DIMERIZÁVEL												Zoneado	Não zoneado
	Adjac.	20					1053	25%	704	75%					791	1053
		40							569	80%	305	20%			516	577
		70							397	59%			280	41%	349	403
	Oposta	20							687	100%					687	687
		40							464	100%					464	464
		70							353	28%	313	44%	258	28%	309	353
	Única	20					1663	66%	989	34%					1431	1694
		40					770	34%	616	66%					669	743
		70							516	72%			236	28%	437	545
OESTE	J	PAF	SISTEMA DE CONTROLE AUTOMÁTICO LIGA DESLIGA												Zoneado	Não zoneado
	Adjac.	20							1742	100%					1742	1742
		40							975	66%	781	34%			908	1118
		70							962	38%	839	22%	679	41%	820	962
	Oposta	20							1260	100%					1260	1260
		40							916	100%					916	916
		70							833	22%	738	50%	668	28%	739	833
	Única	20					2426	59%	1940	41%					2228	2426
		40					1702	28%	1287	72%					1404	1703
		70							1071	66%			679	34%	936	1084
	J	PAF	SISTEMA DE CONTROLE AUTOMÁTICO DIMERIZÁVEL												Zoneado	Não zoneado
	Adjac.	20							897	100%					897	897
		40							401	66%	315	34%			371	471
		70							390	38%	327	22%	262	41%	324	392
	Oposta	20							695	100%					695	695
		40							433	100%					433	433
		70							325	22%	298	50%	251	28%	291	326
	Única	20					1803	59%	1098	41%					1517	1838
		40					823	28%	586	72%					653	842
		70							424	66%			261	34%	368	437

Tabela 40 - Resultados detalhados de acionamento da luz artificial dos casos zoneados M2 com PD3,50m orientados a Leste e Oeste.

CASOS ARQUITETÔNICOS			DADOS DETALHADOS DE ACIONAMENTO DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL HORAS DE USO PARA CADA ZONA (h) E PROPORÇÃO DE ÁREA DA ZONA (%)												DADOS FINAIS DE USO DA LUZ ARTIFICIAL (h)	
orientação	J	PAF	SISTEMA DE CONTROLE AUTOMÁTICO LIGA DESLIGA												Situação do Ambiente	
			ZONA 0		ZONA 1		ZONA 2		ZONA 3		ZONA 4		ZONA 5		Zoneado	Não zoneado
			horas	área	horas	área	horas	área	horas	área	horas	área	horas	área		
LESTE	Adjac.	20					2139	38%	1397	63%					1675	2220
		40					2057	30%	1191	70%					1455	2057
		70					1731	21%	1040	52%	713	13%	656	14%	1091	1731
	Oposta	20					2237	63%	1436	37%					1936	2237
		40					1679	44%	1153	56%					1367	1845
		70					1182	19%	1073	64%			679	17%	1021	1236
	Única	20	2637	48%	2224	16%	1931	19%	1447	17%					2236	2637
		40			2386	45%	1890	25%	1001	30%					1851	2385
		70			2271	30%	1949	28%	985	28%			657	14%	1592	2271
	J	PAF	SISTEMA DE CONTROLE AUTOMÁTICO DIMERIZÁVEL												Zoneado	Não zoneado
	Adjac.	20					1625	38%	858	63%					1146	1708
		40					1537	30%	746	70%					987	1537
		70					1215	21%	638	52%	309	13%	262	14%	665	1216
	Oposta	20					1749	63%	859	37%					1413	1760
		40					1121	44%	639	56%					841	1252
		70					702	19%	602	64%			276	17%	563	760
	Única	20	2598	48%	2005	16%	1530	19%	951	17%					2022	2598
		40			2217	45%	1524	25%	562	30%					1552	2220
		70			1969	30%	1568	28%	571	28%			266	14%	1224	1969
OESTE	J	PAF	SISTEMA DE CONTROLE AUTOMÁTICO LIGA DESLIGA												Zoneado	Não zoneado
	Adjac.	20					2139	22%	1696	78%					1793	2139
		40					2039	16%	1531	59%	1399	26%			1576	2039
		70					1811	9%	1388	55%	779	19%	679	17%	1191	1811
	Oposta	20					2233	63%	1437	37%					1933	2237
		40					1805	47%	1188	53%					1465	1800
		70					1324	19%	1183	64%			679	17%	1123	1342
	Única	20	2871	45%	2812	16%	2386	19%	1660	20%					2525	2871
		40			2779	42%	2386	25%	1297	33%					2195	4214
		70			2556	27%	2373	31%	1279	28%			668	14%	1874	2530
	J	PAF	SISTEMA DE CONTROLE AUTOMÁTICO DIMERIZÁVEL												Zoneado	Não zoneado
	Adjac.	20					1342	22%	850	78%					957	1367
		40					1188	16%	711	59%	650	26%			770	1203
		70					925	9%	608	55%	304	19%	259	17%	521	946
	Oposta	20					1744	63%	859	37%					1409	1760
		40					1175	47%	632	53%					870	1202
		70					761	19%	619	64%			263	17%	582	777
	Única	20	2807	45%	2547	16%	1731	19%	933	20%					2184	2810
		40			2512	42%	1743	25%	589	33%					1689	2513
		70			2076	27%	1710	31%	554	28%			256	14%	1278	2062

Tabela 41 - Resultados detalhados de acionamento da luz artificial dos casos zoneados M3 com PD3,50m orientados ao Norte e ao Sul.

CASOS ARQUITETÔNICOS			DADOS DETALHADOS DE ACIONAMENTO DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL										DADOS FINAIS DE USO DA LUZ ARTIFICIAL (h)			
			HORAS DE USO PARA CADA ZONA (h) E PROPORÇÃO DE ÁREA DA ZONA (%)													
orientação	J	PAF	SISTEMA DE CONTROLE AUTOMÁTICO LIGA DESLIGA										Situação do Ambiente			
			ZONA 0		ZONA 1		ZONA 2		ZONA 3		ZONA 4				ZONA 5	
			horas	área	horas	área	horas	área	horas	área	horas	área	horas	área	Zoneado	Não zoneado
NORTE	Adjac.	20					1644	22%	1406	78%					1458	1835
		40							963	58%	739	14%	782	28%	880	1018
		70							893	48%	739	17%	679	34%	793	893
	Oposta	20							1242	100%					1242	1242
		40							834	53%	832	19%	771	28%	816	834
		70							0	0%	792	59%	679	41%	746	792
	Única	20					2376	53%	1779	47%					2096	2376
		40							1281	72%			781	28%	1141	1281
		70							893	41%	832	25%	679	34%	804	893
	J	PAF	SISTEMA DE CONTROLE AUTOMÁTICO DIMERIZÁVEL										Zoneado	Não zoneado		
	Adjac.	20					1158	22%	860	78%					925	1294
		40							509	58%	322	14%	350	28%	438	531
		70							446	48%	310	17%	275	34%	364	451
	Oposta	20							597	100%			0	0%	597	597
		40							380	53%	360	19%	325	28%	361	380
		70								332	59%	271	41%	307	332	
	Única	20					1795	53%	978	47%					1412	1795
		40							664	72%			348	28%	575	665
		70							431	41%	363	25%	271	34%	359	431

			SISTEMA DE CONTROLE AUTOMÁTICO LIGA DESLIGA										Zoneado		Não zoneado	
SUL	J	PAF														
	Adjac.	20					2315	36%	1770	64%					1966	2315
		40					997	27%	1403	73%					1292	1403
		70							997	72%	679	28%			908	997
	Oposta	20							1242	100%					1242	1242
		40							0	0%	0	0%			0	0
		70							792	22%	831	44%	692	34%	775	833
	Única	20					2373	66%	1854	34%					2194	2373
		40					0	0%	0	0%					0	0
		70					986	66%	679	34%					880	986
	J	PAF	SISTEMA DE CONTROLE AUTOMÁTICO DIMERIZÁVEL										Zoneado	Não zoneado		
	Adjac.	20					1783	36%	1024	64%					1296	1786
		40					466	27%	808	73%					715	809
		70					0	0%	489	72%	265	28%			426	489
	Oposta	20							597	100%					597	597
		40							0	0%	0	0%			0	0
		70							342	22%	343	44%	271	34%	318	350
	Única	20					1933	66%	1935	34%					1934	1935
		40					0	0%	0	0%					0	0
70						477	66%	274	34%					407	477	

Tabela 42 - Resultados detalhados das horas de acionamento da iluminação artificial dos casos zoneados do modelo M3 com PD3,50m orientados a Leste e Oeste.

CASOS ARQUITETÔNICOS			DADOS DETALHADOS DE ACIONAMENTO DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL HORAS DE USO PARA CADA ZONA (h) E PROPORÇÃO DE ÁREA DA ZONA (%)												DADOS FINAIS DE USO DA LUZ ARTIFICIAL (h)	
orientação	J	PAF	SISTEMA DE CONTROLE AUTOMÁTICO LIGA DESLIGA												Situação do Ambiente	
			ZONA 0		ZONA 1		ZONA 2		ZONA 3		ZONA 4		ZONA 5		Zoneado	Não zoneado
			horas	área	horas	área	horas	área	horas	área	horas	área	horas	área		
LESTE	Adjac.	20					1999	44%	1426	55%					1654	2047
		40							1094	100%					1094	1094
		70							834	46%	739	26%	657	28%	759	892
	Oposta	20							1264	100%					1264	1264
		40					834	47%	793	53%					371	834
		70									832	66%	692	34%	784	832
	Única	20					1929	59%	1464	41%					1740	2012
		40							1048	100%					1048	1048
		70							894	66%			679	34%	820	917
	J	PAF	SISTEMA DE CONTROLE AUTOMÁTICO DIMERIZÁVEL												Zoneado	Não zoneado
	Adjac.	20					1546	44%	939	55%					1190	1593
		40							664	100%					664	664
		70							378	46%	323	26%	264	28%	332	468
	Oposta	20							688	100%					688	688
		40					362	50%	330	47%					155	363
		70									368	66%	278	34%	337	368
	Única	20					1515	59%	970	41%					1294	1580
		40							666	100%					666	666
		70							469	66%			278	34%	403	482
OESTE	J	PAF	SISTEMA DE CONTROLE AUTOMÁTICO LIGA DESLIGA												Zoneado	Não zoneado
	Adjac.	20					2280	27%	1687	73%					1849	2280
		40							1345	59%	953	41%			1186	1358
		70							927	36%	839	30%	679	34%	815	962
	Oposta	20							1264	100%					1264	1264
		40							907	44%	844	56%			871	907
		70									792	66%	679	34%	753	792
	Única	20					2352	59%	1591	41%					2042	2352
		40							1363	100%					1363	1363
		70							927	59%			679	41%	826	927
	J	PAF	SISTEMA DE CONTROLE AUTOMÁTICO DIMERIZÁVEL												Zoneado	Não zoneado
	Adjac.	20					1405	27%	830	73%					988	1487
		40							590	59%	368	41%			500	628
		70							331	36%	332	30%	259	34%	307	394
	Oposta	20							688	100%					688	688
		40							408	44%					376	412
		70									311	66%	257	34%	292	312
	Única	20					1690	59%	892	41%					1365	1716
		40							679	100%					679	679
		70							352	59%			266	41%	317	354